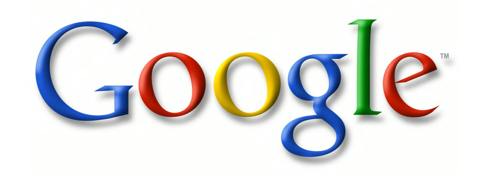
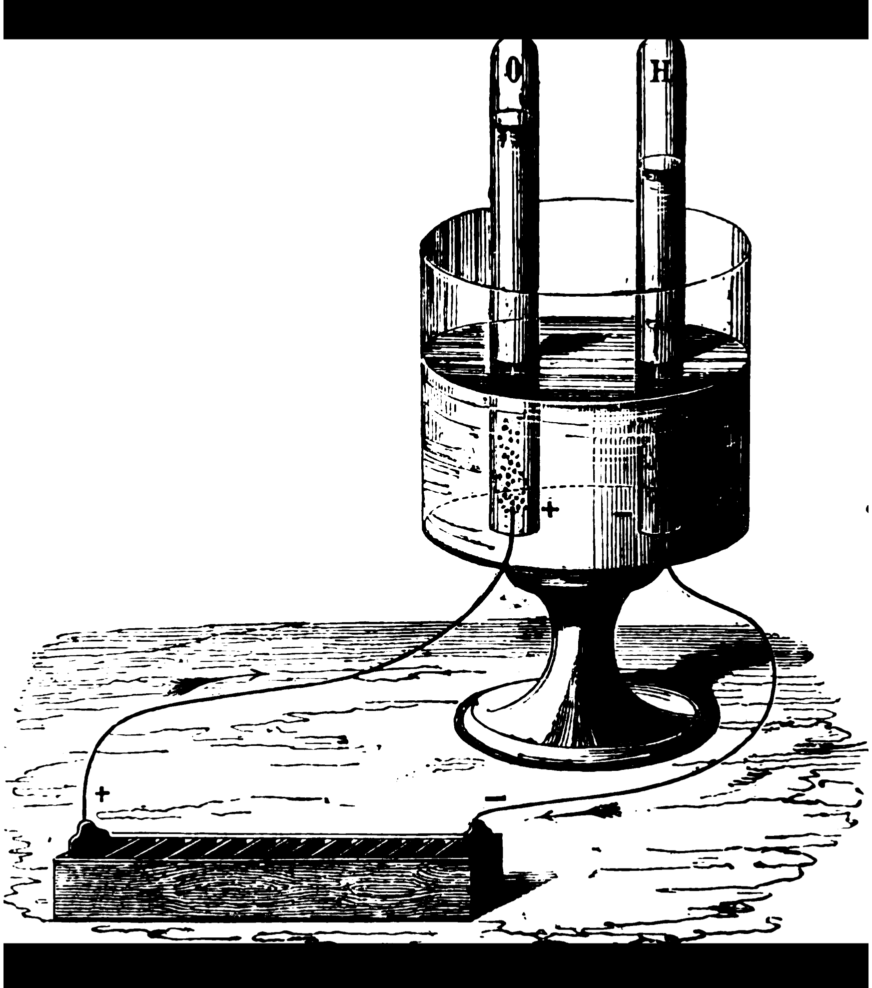
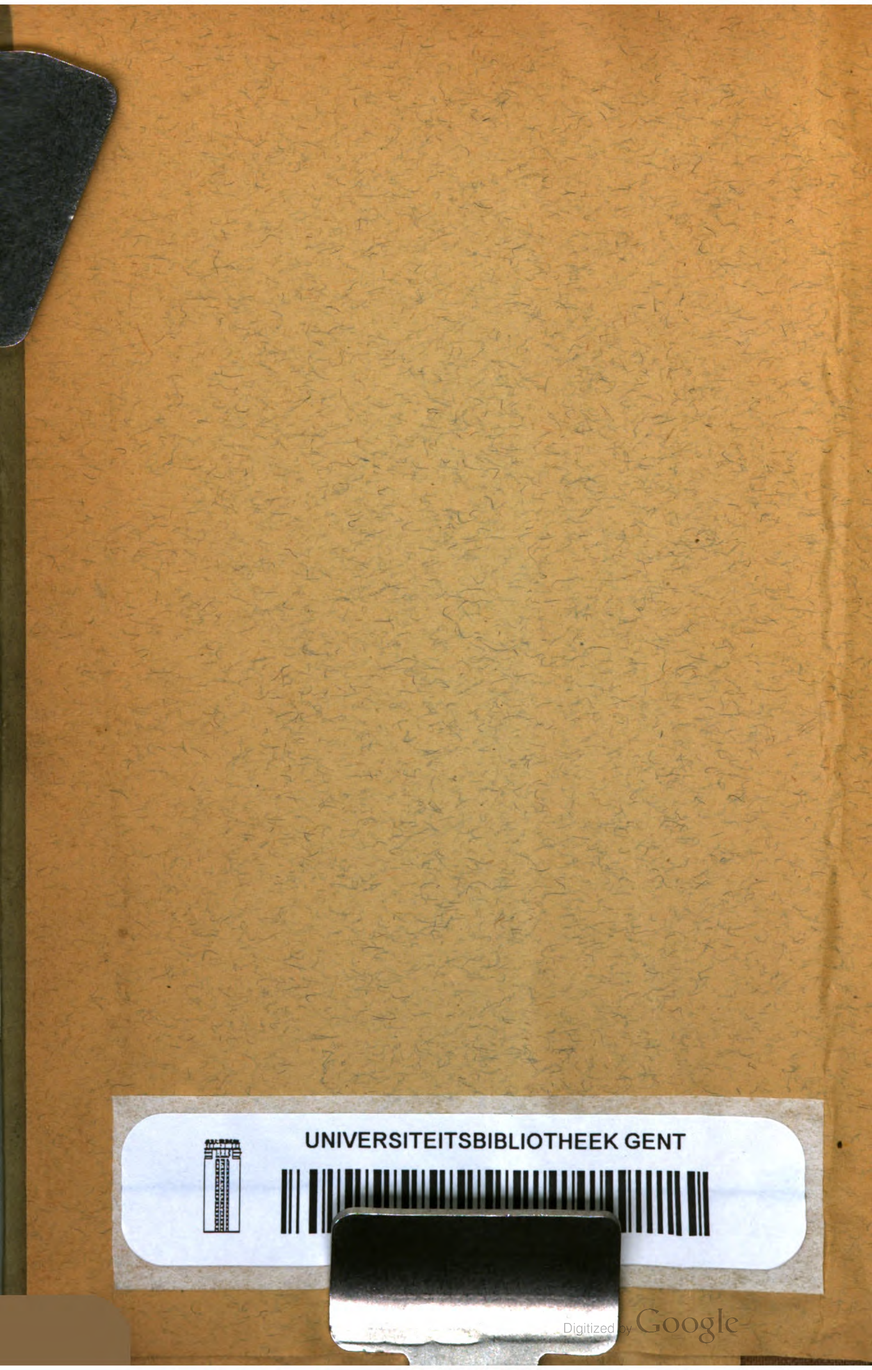




Cours théorique et pratique de télégraphie électrique

Édouard Ernest Blavier, former owner J B McGovern, C. Winstanley (Firm)


UNIVERSITEITSBIBLIOTHEEK GENT
Digitized by Google

COURS THÉORIQUE ET PRATIQUE

DE

TÉLÉGRAPHIE ÉLECTRIQUE

PARIS. — IMPRIMERIE DE W. REMQUET ET Cie,
Rue Garancière, n. 5.

COURS

THÉORIQUE ET PRATIQUE

DE

TÉLÉGRAPHIE

ÉLECTRIQUE

Par E. E. BLAVIER

INSPECTEUR DES LIGNES TÉLÉGRAPHIQUES.

PARIS

LIBRAIRIE SCIENTIFIQUE-INDUSTRIELLE ET AGRICOLE

DE LACROIX-COMON,

15, Quai Malaquais.

1857

COURS THÉORIQUE ET PRATIQUE

DE

TÉLÉGRAPHIE ÉLECTRIQUE



INTRODUCTION.

La télégraphie électrique constitue une véritable science, même pour les employés subalternes chargés de la mettre en pratique. Le stationnaire n'est pas, en effet, uniquement chargé de transmettre et de recevoir des dépêches; il doit posséder à fond la partie technique de son service; prévoir les phénomènes naturels qui peuvent influencer la transmission; reconnaître les dérangements qui ont lieu assez fréquemment dans les postes, dans les appareils et sur les lignes; déterminer leurs causes; parer aux accidents dans la plupart des cas; fournir, quand il y a lieu, aux agents chargés de la surveillance tous les renseignements nécessaires.

Il est donc indispensable qu'il soit initié aux lois et aux propriétés de l'électricité, qu'il se rende un compte exact de la marche du courant dans les différentes circonstances de la transmission, qu'il connaisse parfaitement tous les détails de construction des appareils, des piles, etc.

Il doit, en outre, considérer son poste comme un lieu d'observation duquel il peut suivre journellement les différents effets de

l'électricité atmosphérique. Il doit être en état de les observer, de les analyser et de les enregistrer afin de faire avancer, dans la limite de ses moyens, la théorie d'une branche de la physique encore peu connue et pour laquelle il est à même de fournir de précieux renseignements.

Il est souvent appelé à faire des observations météorologiques et à en transmettre le résultat par le télégraphe.

Enfin, aux prises avec les difficultés pratiques résultant de ses fonctions, il peut souvent découvrir d'utiles améliorations et contribuer à l'adoption d'heureuses modifications.

Ce but élevé est bien celui que M. le Directeur Général des lignes télégraphiques s'est proposé d'atteindre, en exigeant des jeunes gens qui veulent entrer dans l'Administration, des connaissances assez étendues en physique, et en autorisant la création d'annales télégraphiques qui permettent à tous les fonctionnaires de faire connaître leurs idées et leurs observations.

Plusieurs ouvrages ont paru sur la télégraphie électrique, mais, en général, on s'est borné à des descriptions d'appareils trop sommaires et insuffisantes pour donner une idée assez étendue des différentes questions qui peuvent se présenter.

Nous avons cherché à combler cette lacune en publiant ce livre dans lequel nous avons, à cause de son but essentiellement pratique, évité avec soin de soulever toute discussion en fait de priorité de découverte ou d'invention.

Nous l'avons divisé en huit parties.

Dans la première, nous rappelons les notions élémentaires de physique sans lesquelles il est impossible de comprendre la télégraphie électrique.

Dans la seconde, nous envisageons la télégraphie électrique à son point de vue le plus général, sans faire aucune hypothèse spéciale sur la forme des appareils.

Le troisième chapitre et le quatrième sont consacrés à la description des instruments et appareils le plus généralement employés.

Dans la cinquième et la sixième partie, nous examinons les différentes influences étrangères qui nuisent à la transmission, et

nous indiquons la règle générale à suivre pour la recherche des dérangements.

La construction des lignes électriques fait l'objet du septième chapitre.

Enfin dans le huitième et dernier, nous faisons connaître quelques-unes des modifications qui ont été proposées et nous indiquons plusieurs applications de l'électricité qui ont un rapport intime avec la télégraphie électrique.

Nous avons placé à la fin de ce livre un certain nombre de notes qui, par leur caractère un peu étranger à l'objet principal ou leur forme analytique, auraient pu nuire à l'unité de l'ouvrage [1].

Nous ne pouvons nous dispenser, avant de commencer, de jeter un coup d'œil rapide sur les différentes phases qu'a suivies la télégraphie électrique.

On a de tout temps cherché les moyens de communiquer rapidement la pensée à de longues distances; mais le peu d'avancement des sciences physiques n'a pas permis d'obtenir, avant la fin du dernier siècle, d'autre résultat que la transmission, entre des points peu éloignés, de quelques phrases prévues d'avance.

C'est seulement en 1793 que Claude Chappe, après beaucoup de démarches et de tentatives inutiles, parvint à établir, de Paris à Lille, la première ligne de télégraphie aérienne, et son heureux début assura le succès du système [2].

Avant cette époque plusieurs savants avaient proposé d'employer l'électricité pour la transmission des dépêches, bien qu'on ne connût alors que les phénomènes d'électricité statique et que l'on soupçonnât seulement la prodigieuse rapidité de sa propagation. Les

1. Tous les dessins ont été dressés par M. Clouqueur, stationnaire des lignes télégraphiques.

2. La première dépêche transmise par le télégraphe aérien, le 30 novembre 1794, fut l'annonce de la prise de Condé sur les Autrichiens.

essais infructueux qui furent exécutés étaient loin de faire espérer qu'un jour ils seraient la base d'une des plus merveilleuses découvertes de l'esprit humain.

La télégraphie électrique, comme toutes les grandes inventions n'est donc pas l'œuvre d'un seul; elle a suivi la science dans ses différents développements et n'a pu passer dans le domaine de l'application, que lorsque les lois et les propriétés principales de l'électricité furent connues et qu'un besoin réel d'une communication instantanée vint peser sur son avenir, en nécessitant de nouveaux efforts qui furent couronnés d'un succès complet.

En 1774, Lesage, savant d'origine française, construisit à Genève un appareil composé de vingt-quatre fils conducteurs correspondant aux vingt-quatre lettres de l'alphabet et séparés les uns des autres par un matière isolante. A l'une des extrémités de chacun de ces fils, une balle de sureau était suspendue par un petit fil de soie. Lorsque l'on touchait avec une machine électrique l'autre extrémité de l'un quelconque de ces fils conducteurs, la balle de sureau attirée faisait connaître la lettre transmise.

De 1780 à 1800, Reiser en Allemagne, Salva et Bethancourt en Espagne, essayèrent des systèmes analogues.

L'électricité statique est d'une production si pénible et son isolement est si difficile que le problème de la télégraphie électrique ne pouvait être considéré comme résolu et serait resté à l'état de simple conception scientifique, sans la découverte de l'électricité dynamique.

En 1800, les curieuses expériences de Galvani conduisirent Volta à la découverte des courants électriques, de leurs propriétés chimiques et physiologiques.

Une nouvelle ère s'ouvrit pour la science, en permettant de substituer une source d'électricité permanente aux machines électriques et aux bouteilles de Leyde employées jusqu'alors.

En 1811, Sœmmering présenta un appareil formé de trente-cinq fils isolés aboutissant à trente-cinq pointes d'or placées au fond d'une cuve pleine d'eau. Les lettres de l'alphabet et les dix premiers nombres étaient écrits en regard de ces pointes. Au moment où l'un de ces fils était mis en communication avec le

pôle positif d'une pile voltaïque, et un autre avec le pôle négatif, deux bulles, l'une d'oxygène et l'autre d'hydrogène, en se dégageant sur les deux pointes d'or correspondantes, indiquaient deux signaux.

L'Américain Coxe, vers la même époque, proposa un télégraphe fondé sur la décomposition des substances chimiques sous l'action du courant.

En 1819, Œrstedt fit connaître l'action des courants sur l'aiguille aimantée, et cette brillante découverte fut suivie de près par les travaux d'Ampère sur l'électro-dynamique.

Une action mécanique facile à observer pouvait remplacer l'action chimique, et, dès 1820, Ampère imagina un appareil semblable à celui de Sœmmering, mais dont le dégagement des bulles de gaz était remplacé par le mouvement de petites aiguilles aimantées.

L'aimantation du fer doux sous l'influence des courants et l'induction, découvertes dues à Arago et à Faraday, la détermination des lois sur l'intensité du courant par MM. Ohm et Pouillet, enfin l'invention des piles à courant constant de MM. Becquerel, Daniell et Bunsen, complétèrent la série des connaissances nécessaires pour l'application de l'électricité à la télégraphie.

Parmi les savants qui se sont occupés de cette question avant le moment où elle est arrivée sérieusement à l'ordre du jour, nous citerons :

M. Alexander d'Edimbourg, M. le baron Schilling, M. Vorselmann de Heer, MM. Gauss et Weber, M. Amyot, MM. Bréguet et Masson, M. Davy, etc.

M. Steinhell établit à Munich, en juillet 1837, un télégraphe électrique entre deux points distants d'environ cinq mille mètres, et, le premier, se servit de la terre pour compléter le circuit.

M. Morse, en 1838, présenta un appareil imprimant des points et des traits, dont l'invention, paraît-il, remonte à 1832. Cet appareil était à peu près tel que nous le décrirons plus loin, à part le relais qui fut ajouté plus tard.

Ce fut, sans contredit, M. Wheastone qui, par ses remarquables travaux, contribua le plus à l'avancement de la télégraphie



électrique. Après avoir fixé approximativement la vitesse de l'électricité, il détermina la valeur des forces électro-motrices et des résistances des différentes piles. Le premier télégraphe qu'il construisit avait cinq fils conducteurs qui faisaient dévier simultanément cinq aiguilles aimantées. Plus tard il réduisit à deux et même à un le nombre de ces fils.

Jusqu'en 1838, la télégraphie électrique n'avait été considérée que comme une expérience curieuse de cabinet, sans application possible ; aussi, pour la plupart des appareils proposés, supposait-on la nécessité d'un fil spécial correspondant à chaque lettre ou à chaque signal ; mais il n'est pas douteux que si l'idée d'une réalisation pratique fût venue, on eût réduit ce nombre à deux ou même à un, au moyen de combinaisons convenables.

Il restait, en effet, une question importante que l'expérience seule pouvait résoudre, c'était de savoir s'il était possible d'obtenir sur une grande longueur un isolement des fils suffisant, sans des dépenses trop considérables.

La grande extension que commençaient à prendre les chemins de fer, en 1838, et la nécessité d'un moyen de communication rapide, hâtèrent la solution de cette question.

Le premier télégraphe électrique construit en Europe fut établi, entre deux stations du chemin de fer de Londres à Birmingham, en 1838, par M. Wheastone.

On ne tarda pas à reconnaître, en étendant peu à peu la ligne, que de simples fils de fer, suspendus au moyen de supports en porcelaine, pouvaient transmettre le courant électrique à d'assez grandes distances avec une intensité suffisante pour faire fonctionner les appareils.

En quelques années on arriva à la réalisation, sur une grande échelle, de la télégraphie électrique, et l'on ne doit pas s'étonner du peu de temps qu'il fallut pour parvenir à ce résultat lorsqu'on réfléchit à la simplicité des moyens employés.

La France possédait un système de télégraphie aérienne bien organisé, suffisant à tous les besoins du gouvernement, aussi entra-t-elle plus tard que l'Angleterre dans cette nouvelle voie. Ce fut seulement en 1844, lorsque la réussite put être regardée

comme a peu près certaine, que la première ligne fut construite sur le chemin de fer de Paris à Rouen.

Les lignes de Paris à Orléans et de Paris à Lille furent établies dans le courant des années 1847 et 1848. Peu de temps après on installa des lignes électriques le long de tous les chemins de fer en exploitation, en accordant aux Compagnies la faculté d'établir un fil spécial pour leur service.

Un décret en date du 6 janvier 1852 prescrivit l'établissement de bureaux télégraphiques dans tous les chefs-lieux de département; et aujourd'hui, grâce à l'énergique impulsion imprimée à l'administration française, il n'est pas de ville, même d'une importance secondaire, qui ne soit reliée à Paris par une ou plusieurs voies télégraphiques.

L'établissement du télégraphe sous-marin de Calais à Douvres, inauguré le 13 novembre 1851, et dont l'honneur revient en grande partie à M. Brett, fut un nouveau progrès de cette belle découverte.

Pour faire une histoire complète de la télégraphie, il faudrait prendre successivement tous les appareils qui ont été essayés et les suivre dans leurs diverses transformations.

Nous n'entreprendrons pas ce travail qui dépasserait le cadre que nous nous sommes tracé, et ne pourrait d'ailleurs qu'être la reproduction d'une partie de l'excellent Traité de M. l'abbé Moigno.



CHAPITRE PREMIER.

Notions préliminaires.

ÉLECTRICITÉ.

1. **Fluides électriques.** — Lorsqu'on frotte l'un contre l'autre deux corps de nature différente, ils acquièrent en général la propriété remarquable d'attirer les substances légères qui sont placées dans le voisinage, telles que les barbes de plume, les petits morceaux de papier ou de moelle de sureau. Quand une de ces substances a été touchée par un des deux corps frottés, elle en est repoussée, tandis qu'elle est au contraire attirée par l'autre.

Pour expliquer ces phénomènes singuliers on admet que le frottement de deux corps développe sur chacun d'eux un fluide particulier qu'on a désigné sous le nom commun d'électricité. Ces deux fluides invisibles, impondérables échappent à nos moyens d'observation; leur présence ne peut être constatée que par les effets qu'ils produisent; l'un de ces fluides est l'électricité dite positive ou vitrée, l'autre l'électricité dite négative ou résineuse.

Les particules d'un même fluide se repoussent et attirent celles de l'autre fluide. Cette force d'attraction et de répulsion augmente avec le rapprochement des molécules; elle est en raison inverse du carré de la distance, et par conséquent quatre fois plus faible pour une distance double, neuf fois pour une distance triple, et ainsi de suite.

Un bâton de verre frotté avec un morceau de drap se charge de fluide positif; un bâton de résine frotté de la même manière se

charge du fluide négatif. C'est ce qui a fait donner aux deux électricités les noms de vitrée et de résineuse.

Cette idée de deux fluides différents est purement hypothétique, mais elle explique assez bien les phénomènes, et reste dans le langage comme un moyen simple de rattacher tous les faits qui se présentent dans l'étude de l'électricité.

2. — Une tige métallique en contact avec un corps électrisé se charge, instantanément et dans toutes ses parties, d'électricité, tandis qu'un bâton de verre ou de résine placé dans les mêmes circonstances ne s'électrise qu'au point de contact.

Il faut en conclure que l'électricité se propage facilement sur certains corps, qu'on nomme pour cette raison conducteurs, et difficilement sur d'autres qu'on nomme isolants.

Les métaux, le mercure, sont très-bons conducteurs; le verre, la résine, l'air sec, la soie, sont mauvais conducteurs ou isolants.

Entre ces deux catégories de corps viennent se ranger une foule de matières qui sont médiocrement conductrices, telles que la vapeur d'eau, la fleur du soufre, etc... On a donc pu dresser un tableau embrassant toutes les substances connues placées dans l'ordre de leur conductibilité; les métaux occupent le premier rang, le verre, la résine, le dernier.

3. **Fluide neutre.** — Si l'on approche jusqu'au contact deux sphères conductrices de même grandeur chargées d'électricités différentes, mais en quantités égales, ces deux électricités, dont les molécules s'attirent, se réunissent et toute trace disparaît sur les deux sphères.

Cette expérience conduit à admettre que tous les corps de la nature contiennent une égale quantité des deux électricités, dont la réunion produit un fluide sans action ou neutre, et que le frottement ne dégage pas les deux électricités, mais opère seulement leur séparation. Les faits que nous aurons à signaler plus loin le feront ressortir plus clairement encore.

Une certaine quantité de l'un des fluides ne peut jamais neutraliser qu'une égale quantité de l'autre; ainsi supposons que les deux sphères soient inégalement électrisées et que l'une contienne une masse A d'électricité positive plus grande que la masse B

d'électricité négative que contient l'autre ; après le contact il restera seulement sur les deux sphères de l'électricité positive en quantité égale à la différence A—B.

La quantité de fluide neutre que contiennent les corps ne peut pas être déterminée ; tout porte à croire qu'elle est infiniment grande.

4. **Réservoir commun.** — Un corps électrisé mis en communication avec la terre au moyen d'un conducteur perd aussitôt toute son électricité.

La terre peut donc être considérée comme une immense sphère conductrice dont le volume est assez considérable pour que les faibles quantités de fluide électrique que nos moyens nous permettent de développer puissent se répandre dans toute la masse sans produire d'effets sensibles.

La terre est désignée, pour cette raison, sous le nom de réservoir commun d'électricité.

Pour obtenir les phénomènes d'attraction et de répulsion mentionnés au n° 1, il faut par conséquent employer des corps isolants ou des corps conducteurs privés de tout contact avec la terre par des corps isolants.

5. **Electroscopes.** — Les électroscopes ou électromètres sont des instruments destinés à reconnaître la présence de l'électricité dans les corps et à déterminer sa nature. Le plus simple consiste en une balle de sureau suspendue à un fil isolant (de soie par exemple). Un corps qui attire cette boule est électrisé. Si on la charge préalablement d'électricité positive, un corps qui l'attire est électrisé négativement, et il l'est positivement s'il la repousse. Toutefois, ces expériences doivent être faites avec précaution ; car, si la quantité d'électricité de la boule est très-faible par rapport à celle du corps qu'on lui présente, la boule est toujours attirée.

6. **Tension électrique.** — Les particules d'un même fluide ayant la propriété de se repousser, on conçoit que l'électricité ne puisse résider à l'intérieur des corps, mais qu'au contraire elle se répande à leur surface.

Elle se disperserait dans l'espace si elle n'était retenue par un corps isolant qui est en général l'air atmosphérique.

Le fluide exerce en chaque point contre cet obstacle une sorte de pression analogue à celle que l'air comprimé dans un vase exerce contre les parois.

Il faut éviter de confondre la quantité de fluide que renferme un corps avec cette pression qui a reçu le nom de tension. La tension est la force expansive du fluide électrique; elle provient des actions répulsives élémentaires des différentes molécules et augmente par conséquent avec leur rapprochement, de sorte qu'elle dépend, non de la masse totale d'électricité que contient un corps conducteur, mais de la masse d'électricité répandue sur l'unité de surface en chaque point. Aussi la tension peut-elle n'être pas la même aux différentes parties d'un corps, soit par suite de la forme irrégulière de ce corps, soit par suite d'actions étrangères qui accumulent l'électricité en certains points.

7. — La résistance que l'air oppose à la force expansive de l'électricité n'est pas indéfinie; elle varie avec l'état hygrométrique et la pression de l'atmosphère, et décroît rapidement avec cette pression.

Lorsque la tension atteint la limite de cette résistance, le fluide électrique se disperse. Dans le vide, un corps électrisé perd instantanément toute son électricité. On ne peut donc charger indéfiniment un conducteur, la tension devant toujours être inférieure à la résistance que l'air ambiant peut lui opposer.

8. — La tension électrique n'est pas égale à tous les points d'un

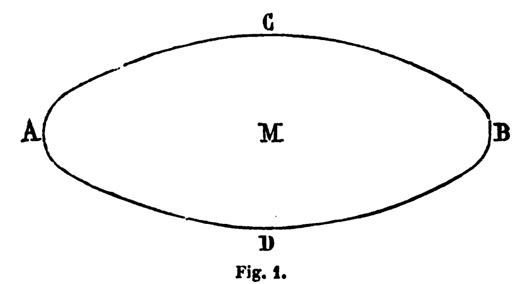


Fig. 1.

même corps: Elle est d'autant plus grande que la courbure est

plus grande. Ainsi pour un ellipsoïde M, la tension sera plus forte aux points A et B qu'aux points C et D (*fig.* 1).

L'expérience et le calcul peuvent donner les lois de cette variation de la tension dans un grand nombre de cas particuliers.

Les pointes qui terminent un corps ont, pour cette raison, à leur extrémité, une tension extrêmement considérable. Cette tension est si forte qu'elle est presque toujours suffisante pour vaincre la résistance de l'air atmosphérique. Un corps terminé par une pointe ne peut donc conserver l'électricité.

9. — La propagation de l'électricité sur les corps tient à cette même propriété des particules électriques de se repousser. La quantité d'électricité enlevée à un corps électrisé par un autre corps doit par conséquent varier avec la tension qui représente cette force expansive, et l'on comprend que certaines substances, qui ne peuvent isoler lorsque la tension est considérable, puissent être regardées comme non conductrices lorsque la tension est très-faible. C'est ce qui arrive par exemple pour le bois, la vapeur d'eau, etc..

10. **Electrisation par influence.** — Un corps conducteur, placé près d'un autre corps, subit par influence une décomposition du fluide neutre qu'il contient.

Ainsi, soit (*fig.* 2), un corps B qu'on approche du corps A électrisé positivement. A l'extrémité de A qui avoisine B, l'électricité négative s'accumulera, tandis qu'au contraire l'électricité positive sera refoulée à l'autre extrémité.

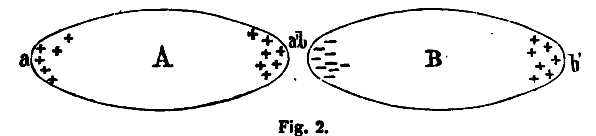


Fig. 2.

L'électricité négative accumulée en *b* réagit à son tour sur l'électricité positive de a′ et la tension est plus grande en a′ qu'en a.

Il s'établit une sorte d'équilibre électrique, qui dépend de la masse d'électricité contenue dans A, de la forme et de l'éloignement des deux corps.

Cette attraction des fluides maintenue en a′ et *b* par la pression

atmosphérique se transmet aux corps eux-mêmes et produit les effets que nous avons signalés au n° 1 lorsqu'elle est assez forte pour mettre en mouvement la masse de l'un des deux corps.

Si on éloigne A, ou si on enlève son électricité, la recomposition du fluide neutre de B a lieu immédiatement et produit dans ce corps un mouvement électrique qu'on nomme choc en retour.

Lorsque la tension des deux fluides, en a' et b, est assez forte pour vaincre la résistance de l'air atmosphérique, les deux électricités se rejoignent en donnant lieu à une étincelle et le corps B reste chargé d'électricité positive.

Il est évident que le même phénomène doit se produire plus facilement, quand l'un des corps A et B est terminé par une pointe.

Si on enlève l'électricité positive de b' en mettant cette extrémité en communication avec la terre, le corps B ne contiendra plus que de l'électricité négative qui réagira plus fortement encore sur l'électricité positive de A et se répandra sur toute la surface B dès que le corps A aura été enlevé.

11. — Considérons (*fig.* 3) plusieurs sphères conductrices pla-

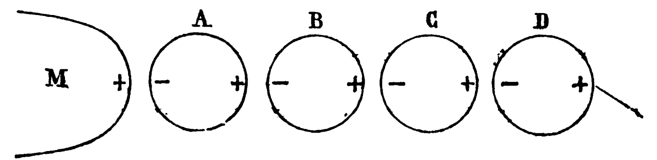


Fig. 3.

cées à la suite l'une de l'autre, et dont la dernière communique avec la terre. Quand on approche de la première A un corps M chargé d'électricité positive, le fluide neutre de cette sphère se décompose, le fluide négatif se porte du côté de M et le fluide positif de l'autre. Le fluide positif de A produit à son tour dans B une décomposition analogue qui se transmet ainsi jusqu'à la dernière sphère comme l'indique la figure.

Si toutes ces sphères sont rapprochées et si la tension électrique du corps M est assez forte pour vaincre la résistance atmosphérique, les électricités, positive de M et négative de A, recom-

poseront le fluide neutre en se rejoignant ; les électricités, positive de A et négative de B, se réuniront également, et la recomposition aura lieu jusqu'à la dernière sphère dont l'électricité positive se transmettra par le conducteur au réservoir commun.

12. **Propagation de l'électricité.** — Un corps quelconque peut être considéré comme composé d'une infinité de petites molécules très-rapprochées ; il résulte de ce que nous venons de dire que le mouvement électrique sur un corps conducteur s'opère, non par suite d'un écoulement du fluide électrique analogue à celui d'un liquide dans un tube, mais par une série de décompositions et recompositions successives du fluide neutre dans les différentes molécules.

Plusieurs appareils ont été construits d'après les principes qui précèdent, nous nous bornerons à citer la machine électrique et les condensateurs.

13. **Machine électrique.** — La machine électrique sert à déve-

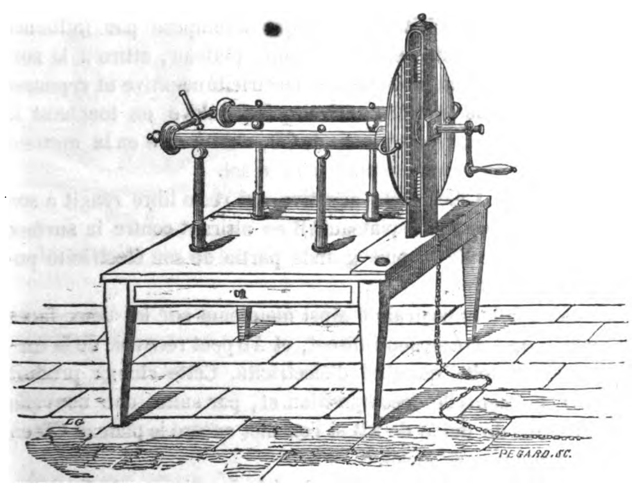


Fig. 4.

lopper de l'électricité sur de grandes surfaces métalliques. Elle se compose (*fig.* 4) d'un plateau en verre mobile autour d'un axe horizontal qui passe par son centre ; le plateau, mis en mouvement

au moyen d'une manivelle, frotte, dans sa rotation, contre quatre coussins fixés aux montants.

Un conducteur métallique, isolé du sol par des pieds en verre, embrasse, au moyen de deux arcs, ce plateau, et lui présente quelques pointes.

L'électricité positive développée sur le plateau de verre par le frottement décompose, en passant devant les pointes, le fluide neutre du conducteur, absorbe l'électricité négative et laisse à l'état libre l'électricité positive qui se répand sur toute la surface métallique.

14. **Condensateurs.** — Les condensateurs sont destinés à permettre d'accumuler sous de petits volumes de grandes quantités d'électricité. Ils se composent généralement de deux plateaux métalliques AB et CD (*fig.* 5), séparés par un plateau de verre EF. Le premier AB, étant mis en communication avec une machine électrique, se charge d'électricité positive qui décompose par influence le fluide neutre de l'autre plateau, attire à la surface la plus voisine l'électricité négative et repousse l'électricité positive qu'on enlève en touchant la surface extérieure de CD, c'est-à-dire en la mettant en communication avec le sol.

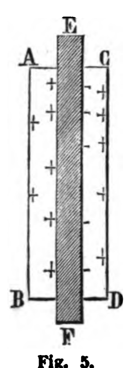


Fig. 5.

L'électricité négative qui reste libre réagit à son tour sur le plateau AB en attirant contre la surface de EF la plus grande partie de son électricité positive.

Les deux fluides contraires ainsi maintenus sur les deux faces du plateau de verre se neutralisent, et AB peut recevoir de la machine une nouvelle quantité d'électricité. Cette charge produit dans CD une nouvelle décomposition et, par suite, une nouvelle neutralisation du fluide de AB si l'on met encore le plateau CD en communication avec le sol.

En répétant un grand nombre de fois la même opération, on peut obtenir sur les deux plateaux métalliques une grande quantité d'électricité qui réside principalement contre les deux surfaces du plateau de verre.

Lorsqu'on fait communiquer, au moyen d'un conducteur métallique, les plaques AB et CD, les fluides se précipitent l'un vers l'autre, et leur réunion produit une vive étincelle.

La charge du condensateur se fait ordinairement d'un seu coup, en faisant communiquer le plateau AB avec une machine électrique ordinaire et CD avec le sol.



Fig. 6.

15. — La bouteille de Leyde (*fig.* 6 est un condensateur auquel on donne la forme d'une bouteille. L'extérieur et l'intérieur sont garnis de feuilles d'étain qu'on nomme armatures. L'armature intérieure correspond à une tige métallique qui traverse le bouchon. Toute communication autre que par l'intermédiaire de corps isolants entre les deux armatures doit être soigneusement évitée. La bouteille de Leyde se charge en tenant à la main l'armature extérieure et en touchant avec la tige le conducteur d'une machine électrique en mouvement.

En réunissant les armatures intérieures et les armatures extérieures de plusieurs bouteilles de Leyde, on obtient une batterie électrique.

L'étincelle électrique produite par la décharge d'une batterie volatilise les métaux, perce le verre, le carton, et produit des effets physiologiques qui peuvent être terribles si la batterie est composée d'un grand nombre de bouteilles de Leyde.

16. **Électricité due au contact.** — Le simple contact de deux corps hétérogènes suffit pour décomposer le fluide neutre et produire de l'électricité.

Ainsi, deux disques, l'un de zinc et l'autre de cuivre, étant placés l'un sur l'autre, le premier se charge d'électricité positive et le second d'électricité négative (*fig.* 7).

La tension des deux fluides en chaque point varie avec la nature des deux corps; elle est la même sur toute l'étendue de la

surface de contact et ne dépend pas des dimensions de cette surface. La quantité absolue d'électricité produite au contraire augmente avec les dimensions des deux corps.

La décomposition du fluide neutre a également lieu si, préalablement, les deux disques sont chargés d'électricité, cette électricité positive, par exemple, neutralise l'électricité négative dégagée par le contact sur le cuivre et s'ajoute à l'électricité positive sur le zinc.

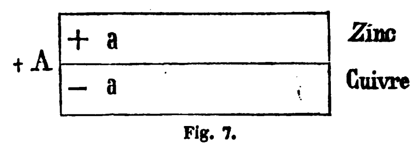


Fig. 7.

Si A est la tension de la masse d'électricité répandue d'avance sur les deux disques (*fig.* 7), à celle de l'électricité positive et négative développée par le contact, A + a sera la tension sur le disque de zinc et A — a sur le disque de cuivre.

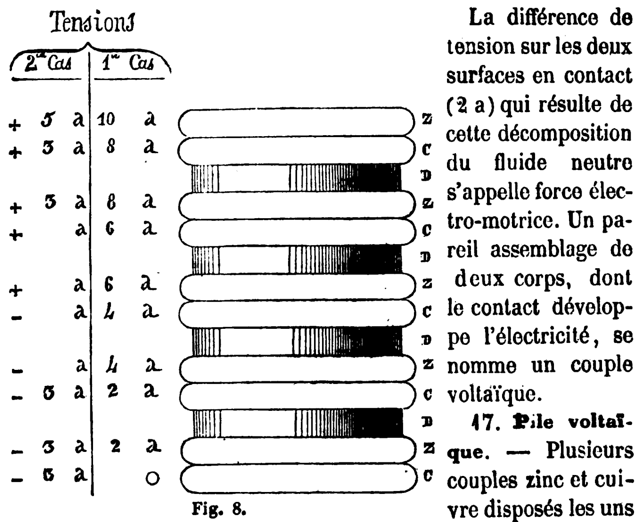


Fig. 8.

La différence de tension sur les deux surfaces en contact (2 a) qui résulte de cette décomposition du fluide neutre s'appelle force électro-motrice. Un pareil assemblage de deux corps, dont le contact développe l'électricité, se nomme un couple voltaïque.

17. Pile voltaïque. — Plusieurs couples zinc et cuivre disposés les uns au-dessus des autres et séparés par des rondelles de drap humide (*fig.* 8), constituent la pile voltaïque à colonne. Il est

facile de se rendre compte de l'effet produit par ce système.

Chaque contact des deux métaux donnant lieu à une différence de tension égale à 2 a, pour cinq couples la différence de tension entre le cuivre inférieur et le zinc supérieur sera de 10 a.

Si le cuivre inférieur communique avec la terre, sa tension étant nulle, celle du premier zinc sera 2 a, celle du deuxième 4 a, etc..... et celle du zinc supérieur 10 a.

Si les deux extrémités de la pile sont isolées, le cuivre inférieur sera chargé d'électricité négative, le zinc supérieur d'électricité positive; la tension commune aux deux extrémités sera 5 a.

Les rondelles de drap mouillé ne servent qu'à séparer les couples en conduisant l'électricité.

On appelle pôles les deux extrémités de la pile; le zinc supérieur est le pôle positif et le cuivre inférieur le pôle négatif.

On voit que la différence de tension électrique aux deux pôles d'une pile est proportionnelle au nombre des couples et ne dépend aucunement de leur surface; toutefois, cette loi ne peut être considérée comme absolue, quand le nombre de couples est considérable.

18. — Lorsqu'on réunit avec un corps conducteur les deux extrémités de la pile à colonne, les deux fluides contraires se rejoignent. Comme la cause qui produisait l'électricité subsiste, la pile se charge de nouveau et le mouvement électrique continue indéfiniment dans le conducteur.

L'électricité considérée, comme nous l'avons fait jusqu'à présent, à l'état de repos, se nomme électricité statique ou de tension, tandis que, lorsqu'elle est en mouvement par suite de la réunion des deux pôles d'une pile, elle se nomme électricité dynamique et jouit de propriétés spéciales.

19. **Électricité due aux actions chimiques.** — La quantité d'électricité développée par le simple contact de deux métaux est extrêmement faible : elle est beaucoup plus grande quand l'un d'eux est remplacé par un liquide susceptible de donner avec l'autre une combinaison chimique. Ainsi une lame de zinc (*fig.* 9), plongée dans l'acide sulfurique, se charge d'électricité négative, tandis que l'acide s'électrise positivement. Cette production d'élec-

tricité n'est pas due au simple contact, mais elle tient à l'action chimique elle-même qui s'arrête, en général, dès que la tension a acquis une certaine intensité, et continue au contraire si on enlève l'électricité produite en réunissant, par exemple, le métal et l'acide avec un fil de cuivre [1].

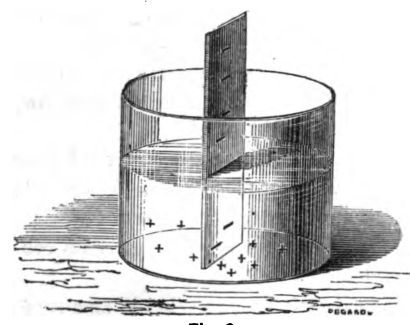


Fig. 9.

La formation des deux électricités ayant alors lieu indéfiniment, la combinaison chimique dure jusqu'à la réduction complète du zinc [2].

20. — Le zinc n'est pas ordinairement très-homogène; quand on le plonge dans l'acide sulfurique, la réunion des deux électricités peut souvent avoir lieu sans qu'il soit besoin de conducteur extérieur. Pour remédier à cet inconvénient, il est nécessaire, dans certaines piles, de le recouvrir d'une légère couche de mercure qui rend l'action chimique égale sur toute la surface; c'est ce qu'on appelle amalgamer le zinc.

21. — D'après ce qui précède on peut former une pile analogue à la pile à colonne, en séparant les couples d'acide et de zinc par un corps conducteur tel que le cuivre sans action sur l'acide qui remplit le même but que la rondelle de drap; on obtient ainsi un appareil AB (*fig.* 10), composé d'augets remplis d'acide sulfurique séparés les uns des autres par des plaques de cuivre et de zinc.

La tension aux extrémités se détermine de la même manière que pour la pile à colonne. Elle est proportionnelle au nombre des couples ou éléments et indépendante de leur surface. L'ex-

1. *Voir* la note 1 à la fin de l'ouvrage.

2. Le résultat de la combinaison du zinc et de l'acide sulfurique étendu est du sulfate de zinc.

trémité cuivre est électrisée positivement et l'extrémité zinc négativement [1].

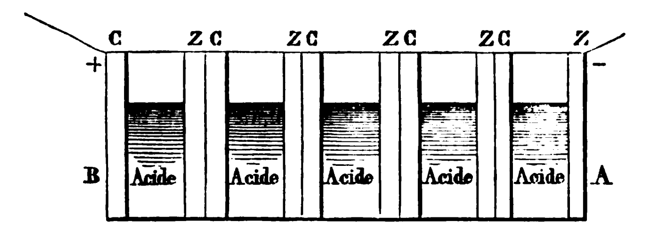


Fig. 10.

22. — Tous les corps susceptibles de donner des combinaisons chimiques peuvent servir à la construction des piles : on emploie le plus généralement l'action du zinc sûr l'acide sulfurique ou sur le sulfate de cuivre. On donne aux piles différentes formes ; nous parlerons plus loin de celles qui sont ordinairement employées pour la télégraphie électrique.

La quantité d'électricité produite par le simple contact de deux métaux est si faible que l'on a été conduit tout naturellement à supposer que la force électro-motrice, développée dans la pile à colonne, provient surtout de l'action chimique qui résulte du contact des rondelles humides et des disques de zinc, d'autant plus que l'on est obligé, pour obtenir une certaine intensité, de tremper ces rondelles dans de l'eau légèrement acidulée.

23. **Courant électrique.** — Comme nous l'avons vu, lorsqu'on réunit les deux pôles de la pile par un fil conducteur, il se produit un mouvement électrique qui persiste autant que dure l'action chimique et jouit de propriétés particulières. On a donné le nom de courant à ce mouvement. La force du courant ou l'in-

1. Dans la pile à colonne (*fig.* 8), le zinc est le pôle positif et le cuivre le pôle négatif; le contraire a lieu dans la pile actuelle, ce qui tient à ce que, pour rendre la position identique dans les deux cas, il faudrait ajouter, après le dernier zinc A de la *fig.* 10, un disque de cuivre, et de l'autre côté, en B, un disque de zinc.

tensité dépend de la quantité d'électricité qui passe en chaque point du conducteur.

La transmission de l'électricité, d'un pôle de la pile à l'autre, s'explique par une suite de décompositions et de recompositions des molécules du fluide neutre du conducteur, comme nous l'avons indiqué au nº 12. Toutefois, afin de simplifier les idées et le langage, on convient de regarder le courant comme produit par le transport de l'électricité positive dans le conducteur extérieur, du pôle positif de la pile au pôle négatif, et ce mouvement constitue le sens du courant.

Avant de donner les propriétés et les lois du courant électrique, nous devons passer rapidement en revue une autre branche de la physique qui se trouve intimement liée à la théorie des courants. Nous voulons parler du magnétisme.

MAGNÉTISME.

24. **Magnétisme.** — Le magnétisme est la propriété d'attirer le fer dont jouissent certains corps qu'on nomme aimants.

On trouve dans la nature un assez grand nombre d'aimants naturels : ce sont des oxydes de fer ou combinaisons de l'oxygène avec le fer. Quelques autres métaux sont aussi attirés par les aimants ; mais le fer est celui qui possède au plus haut degré les propriétés magnétiques. La force d'attraction s'exerce surtout aux extrémités des aimants, qu'on appelle pôles.

25. — Un barreau de fer doux placé près d'un aimant prend les propriétés magnétiques ; il les perd dès que l'aimant est enlevé. L'influence est d'autant plus grande que la distance des deux corps est moindre. Un barreau d'acier s'aimante plus difficilement, mais il conserve les propriétés magnétiques et devient un véritable aimant.

26. **Influence de la terre.** — Une aiguille d'acier aimantée, mobile autour de son centre, ne reste pas horizontale, elle se place d'elle-même suivant une direction constante, sensiblement du nord au sud. Si on l'écarte de cette position, elle y revient, et le même pôle se dirige toujours vers le nord.

L'angle que la direction de l'aiguille fait avec le plan méridien [1] est la déclinaison; l'angle qu'elle fait avec le plan horizontal est l'inclinaison. A Paris, l'aiguille se dirige à l'ouest; la déclinaison est de 22°.

L'inclinaison et la déclinaison en un même lieu varient lentement avec le temps; ainsi, en 1580, la déclinaison, à Paris, était de 11° à l'est.

Dans certains pays, la direction de l'aiguille aimantée est en outre soumise à de légères variations diurnes dont la cause est inconnue. Les orages, les aurores boréales agissent sur l'aiguille aimantée, comme nous le verrons plus loin.

La boussole se compose d'une aiguille aimantée mobile sur un pivot. On connaît l'importance de cet instrument pour les navigateurs.

27. **Répulsion et attraction des aimants.** — Les pôles contraires de deux aimants en présence s'attirent et les pôles semblables se repoussent; ainsi, une aiguille aimantée, posée au-dessus d'un gros aimant, AB (*fig.* 11) se place toujours de façon que son pôle nord soit dirigé vers le pôle sud du gros aimant. Aux extrémités du barreau, l'attraction étant plus forte, l'aiguille s'incline comme l'indique la figure.

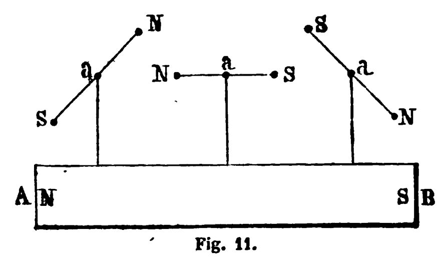


Fig. 11.

L'action de la terre peut être assimilée à celle d'un gros aimant.

On donne souvent aux deux pôles de l'aiguille, comme à ceux de la terre, les noms de pôle boréal et pôle austral; le pôle austral de l'aiguille est celui qui se dirige vers le pôle nord ou boréal de

1. Le plan méridien est le plan qui passe en chaque point du globe par l'axe de la terre. Si la déclinaison était nulle, l'aiguille aimantée resterait dans ce plan et aurait exactement la direction du nord au sud.



la terre, et le pôle boréal de l'aiguille celui qui se dirige vers le pôle sud ou austral de la terre.

28. **Hypothèse des deux fluides.** — Pour l'explication des phénomènes magnétiques, on admet, comme dans la théorie de l'électricité, deux fluides différents. Les molécules d'un même fluide s'attirent, tandis qu'elles repoussent au contraire celles de l'autre fluide [1].

Tous les corps magnétiques contiennent simultanément les deux fluides qui sont réunis et se neutralisent mutuellement; la séparation de ces deux fluides constitue l'aimantation. Toutefois, on ne peut supposer ici, comme pour l'électricité, qu'ils se propagent dans toute la masse et se portent aux deux pôles, car si l'on brise un aimant, chaque partie constitue un aimant spécial avec deux pôles de noms contraires.

Un aimant doit être regardé comme composé d'une infinité de particules magnétiques (*fig.* 12), dont les fluides sont séparés.



Fig. 12.

La force qui s'oppose, dans les corps, à la séparation des fluides magnétiques et à leur réunion, quand ils sont séparés, est la force coercitive; elle est très-grande dans l'acier et presque nulle dans le fer doux [2].

29. — Il résulte de cette hypothèse que, les fluides magnétiques n'étant libres qu'aux extrémités des aimants, les forces d'attraction et de répulsion se concentrent à ces deux extrémités et sont

1. Bien que l'hypothèse des deux fluides magnétiques soit abandonnée, nous l'indiquons ici parce qu'elle se trouve dans la plupart des cours élémentaires de physique, et que d'ailleurs elle représente assez bien les faits. Quelle que soit, en effet, la cause qui produit le magnétisme des molécules élémentaires des corps, on peut toujours considérer un aimant comme formé d'une infinité de petits aimants juxtaposés.

2. Le fer doux est le fer extrêmement pur qui n'a subi ni la trempe ni aucune action mécanique telle que la torsion. L'acier est une combinaison du fer avec une petite quantité de carbone (charbon). La force coercitive augmente beau-

indépendantes de la longueur des aimants, quand cette longueur dépasse une certaine limite.

Au milieu de l'aimant, les deux fluides se neutralisent, et par suite n'exercent aucune action.

Si l'on place en face d'un aimant AB, un corps magnétique CD, dont la force coercitive est nulle (*fig.* 13), la séparation des fluides

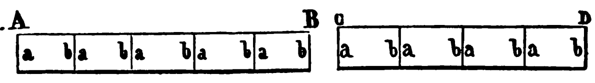


Fig. 13.

s'opère immédiatement. Le fluide austral, attiré par le fluide boréal de AB, se porte à l'extrémité C du premier élément. Cet élément agit sur le suivant en produisant la même décomposition qui se transmet dans tout le corps CD. Dès qu'on enlève l'aimant AB, les fluides magnétiques de CD se réunissent et ce corps revient à l'état neutre.

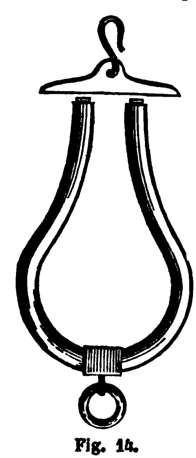


Fig. 14.

30. — Lorsque le corps CD est de l'acier, la force coercitive empêche la séparation des deux fluides. Il faut, pour vaincre cette force, frotter avec l'aimant en faisant glisser un des pôles sur le barreau et en répétant plusieurs fois les frictions dans le même sens. On obtient, par ce moyen, des aimants artificiels d'une grande énergie.

On donne souvent aux aimants la forme d'un fer à cheval (*fig.* 14). Pour maintenir la séparation des fluides magnétiques, qui, malgré la force coercitive, tendent à se réunir, on place ordi-

coup dans l'acier quand il a été trempé, c'est-à-dire chauffé au rouge et refroidi subitement.

Le fer employé pour les usages ordinaires, et qu'on trouve dans le commerce, n'est jamais parfaitement pur. Pour s'en servir comme fer doux, dans les expériences sur le magnétisme et l'électro-magnétisme, on doit lui faire subir une préparation spéciale qui en augmente beaucoup le prix.

nairement en face des pôles des barreaux de fer ou armatures qui s'aimantent par influence.

31. — La distribution des fluides dans les particules d'un aimant peut n'être pas partout la même ; il existe alors des points conséquents, c'est-à-dire des pôles qui ne sont pas placés aux extrémités des aimants.

Ainsi, pour l'aimant AB (*fig.* 15), les pôles extrêmes A et B

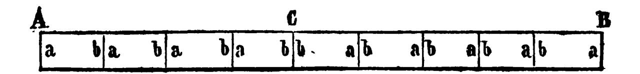


Fig. 15.

sont les mêmes, et au milieu C se trouve un point conséquent formé par la réunion des deux pôles contraires aux premiers.

Un pareil état se produit dans un barreau d'acier quand il n'est pas frotté régulièrement pendant son aimantation, mais il ne peut être persistant puisque les deux fluides réunis en C agissent par répulsion et tendent à ramener le barreau à l'état neutre.

32. — La force coercitive n'est jamais entièrement nulle. Lorsqu'un barreau de fer doux a été aimanté par influence, il ne revient pas parfaitement à l'état neutre et conserve d'autant plus de magnétisme que l'aimantation a été plus forte.

Différentes circonstances peuvent augmenter cette force coercitive, le choc et la torsion par exemple. La chaleur, au contraire, la diminue : ainsi, un aimant chauffé à une température élevée perd son magnétisme.

PROPRIÉTÉS ET LOIS DU COURANT ÉLECTRIQUE.

33. **Effets physiologiques.** — Lorsqu'on touche les deux pôles d'une pile avec les mains mouillées, on ressent une commotion analogue à celle qu'on éprouve en déchargeant un conducteur fortement électrisé. La cause de cette commotion est inconnue ; elle a lieu au moment où le courant s'établit et au moment où il

cesse; elle est d'autant plus forte que la tension aux extrémités de la pile est plus considérable.

Ces commotions sont employées pour la guérison de diverses maladies; elles produisent des effets singuliers dans les cadavres privés récemment de la vie.

34. **Effets calorifiques.** — Un fil de métal très-fin, traversé par un courant intense, s'échauffe et rougit, il peut même se fondre et se volatiliser.

35. **Effets lumineux.** — L'étincelle produite par la réunion des deux électricités d'une pile n'est pas aussi vive que celle qui provient de la décharge d'une bouteille de Leyde; on l'observe seulement au moment où l'on établit la communication entre les deux pôles.

Si l'on rapproche les extrémités de deux fils terminés par des cônes de charbon et reliés aux pôles d'une pile assez forte, il s'opère un transport des molécules de l'un des cônes à l'autre, et les particules de charbon, échauffées jusqu'au rouge par l'action calorifique du courant, produisent une flamme extrêmement brillante. C'est cette flamme qu'on nomme lumière électrique et qu'on cherche à utiliser comme moyen d'éclairage, avec un instrument spécial qui maintienne toujours les extrémités des charbons à la même distance.

36. **Effets chimiques.** — Un corps liquide formé de deux éléments et traversé par un courant électrique est, en général, décomposé.

Ainsi, lorsqu'on plonge dans l'eau les extrémités de deux fils qui correspondent aux deux pôles d'une pile (ou électrodes), l'eau se décompose; l'hydrogène se porte à l'électrode négatif et l'oxygène à l'électrode positif. On peut recueillir les deux gaz en plaçant deux petites cloches pleines d'eau au-dessus des deux fils (*fig.* 16).

Dans l'espace intermédiaire, on ne remarque aucune bulle, ce qui montre que l'action chimique a lieu par une série de décompositions et recompositions analogues à celles que nous avons décrites pour la propagation de l'électricité.

Presque tous les corps composés sont réduits par un courant électrique suffisamment intense.

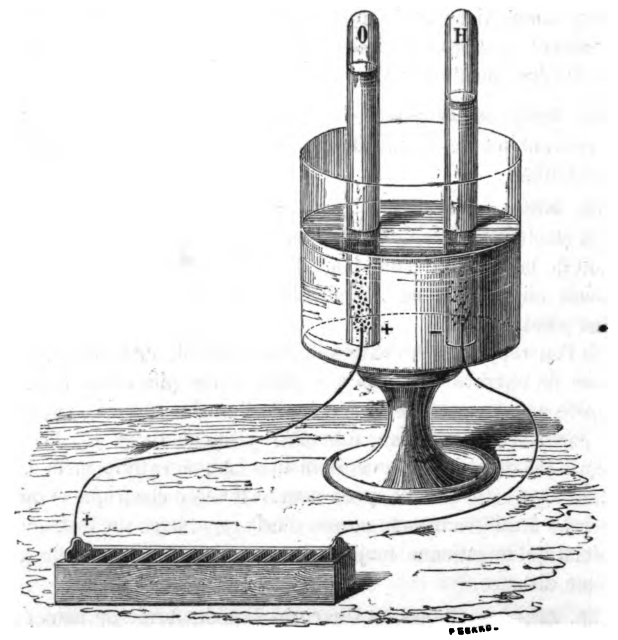


Fig. 16.

Dans toutes les combinaisons où entre de l'oxygène, ce corps se transporte au pôle positif[1].

Pour les sels, l'acide se porte au pôle positif et l'oxyde au pôle négatif.

Quelquefois, lorsqu'un sel est décomposé, l'oxyde et l'acide sont en même temps réduits; d'autres fois, un seul de ces éléments subit la décomposition.

Quand le métal qui forme l'électrode peut donner des combinaisons avec les éléments qui s'y transportent par suite de l'ac-

1. *Voir* la note 2 à la fin de l'ouvrage.

tion du courant, ces combinaisons se forment. Par exemple, le sulfate de cuivre, en dissolution dans l'eau sous l'action du courant, se décompose en acide sulfurique et en oxide de cuivre, l'oxyde de cuivre est, à son tour, décomposé, et le cuivre se transporte seul au pôle négatif, l'acide sulfurique et l'oxygène se portent au pôle positif. Si l'électrode positif est un fil de cuivre, la recomposition de l'oxyde de cuivre et du sulfate de cuivre a lieu immédiatement, et l'effet définitif est le transport du métal de l'électrode positif à l'électrode négatif. C'est sur cette propriété qu'est fondée la galvanoplastie.

Si le métal du fil qui forme l'électrode positif, au lieu d'être du cuivre, était du fer, le sulfate de cuivre se décomposerait encore, mais l'acide sulfurique et l'oxygène, qui se transportent au pôle positif par leur combinaison avec le fer, formeraient du sulfate de fer.

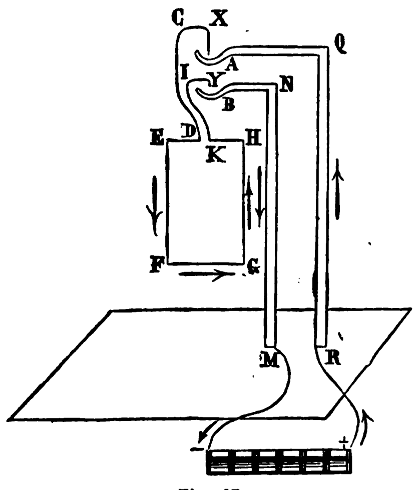


Fig. 17.

37. **Effets électro-dynamiques.** — Les courants électriques exercent les uns sur les autres des effets d'attractions et de répulsions remarquables. Pour observer ces actions, il faut rendre au moins l'un des courants mobile. On y parvient en plaçant sur une table deux colonnes en cuivre, MN et RQ (*fig.* 17), recourbées à la partie supérieure et terminées, en A et B, par deux petites cuvettes pleines de mercure. Le conducteur XCDEFGHKIY repose sur les deux cuvettes et peut tourner autour des deux points X et Y; pour faire passer le courant, il suffit de mettre les deux colonnes en communication avec les deux pôles

d'une pile P. Dans la position de la figure, le courant, partant du pôle positif de la pile, traverse la colonne RQA; le conducteur mobile, et revient au pôle négatif par la colonne BNM.

On peut, d'ailleurs, donner à ce conducteur toutes les formes possibles.

On aurait encore un courant mobile en fixant le conducteur à un flotteur en liége posé sur une cuve pleine d'eau et en faisant arriver le courant par deux fils très-fins qui n'opposent pas de résistance au mouvement du flotteur.

Les principales lois de ces actions sont les suivantes :

1° Deux courants parallèles s'attirent s'ils vont dans le même sens et se repoussent s'ils vont en sens contraire;

2° Deux courants obliques s'attirent s'ils vont tous les deux vers le sommet de l'angle, ou s'en éloignent; ils se repoussent quand l'un va vers le sommet et que l'autre s'en éloigne.

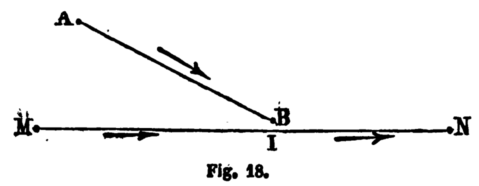


Fig. 18.

Ainsi, le courant AB (*fig.* 18) est attiré par la portion MI du courant MN et repoussé par la portion IN;

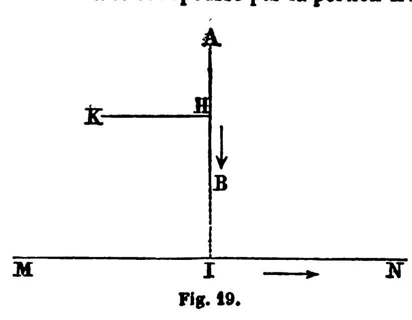


Fig. 19.

3° Un conducteur sinueux, traversé par un courant, exerce sur un autre courant le même effet qu'un courant rectiligne terminé aux mêmes extrémités;

4° Les forces d'attraction et de répulsion augmentent avec le rapprochement et sont proportionnelles au produit des intensités des deux courants.

38. — De ces lois on conclut que si deux courants perpendiculaires, tels que MN et AB (*fig.* 19), sont en présence, le premier étant indéfini, le courant AB, attiré par la portion MI et repoussé avec une égale force par la portion IN, doit se transporter suivant HK, c'est-à-dire parallèlement à MN et en sens contraire de ce courant.

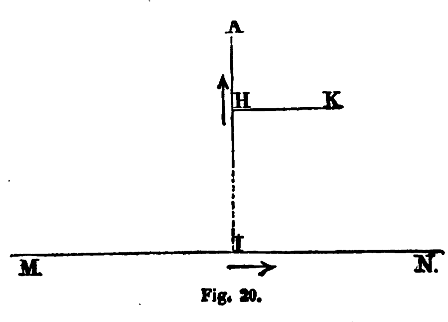


Fig. 20.

Lorsqu'on change la direction de l'un des courants (*fig.* 20) le mouvement à lieu en sens inverse.

Un conducteur, tel que ACDEFGHB (*fig.* 21, n° 1), composé de

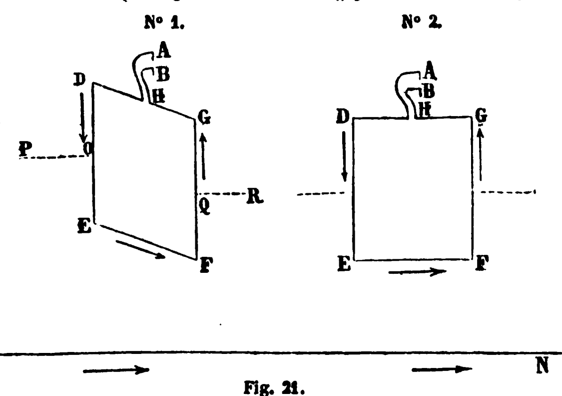


Fig. 21.

deux branches horizontales EF et DG et de deux branches verticales DE et GF parcourues en sens contraire par un courant électrique, se met en mouvement sous l'action d'un courant horizontal indéfini MN.

La branche verticale DE est, comme dans le cas précédent, poussée dans la direction OP, et la branche GF dans la direction

QR. Le conducteur prend donc la position du n° 2 au-dessus du courant MN. La branche inférieure EF se place parallèlement à MN et les deux courants ont le même sens.

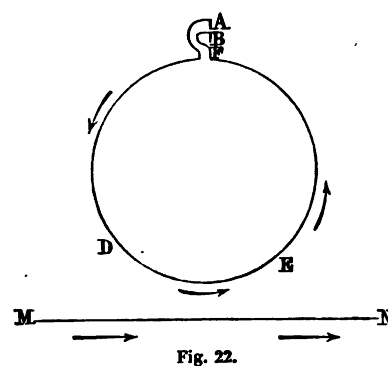


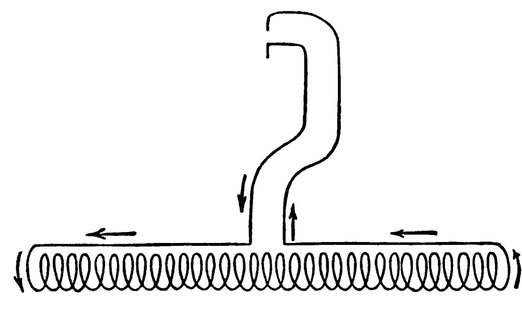
Fig. 22.

Un courant circulaire ADEFB (*fig.* 22) prendrait évidemment une position analogue.

39. **Action de la terre sur les courants.** — Un courant rectangulaire ou circulaire, semblable à ceux des figures 21 et 22, sous l'action seule de la terre, prend une direction fixe telle que son plan soit normal à la direction de l'aiguille aimantée et que, dans la branche inférieure, le courant marche de l'est à l'ouest.

L'action de la terre est donc la même que celle d'un courant électrique qui parcourrait l'équateur de l'est à l'ouest.

Au lieu d'un seul cercle, on peut en concevoir plusieurs placés


Fig. 23.

parallèlement. Pour réaliser à peu près ce système, il suffit d'enrouler en hélice un fil conducteur (*fig.* 23). Lorsqu'un cou-

rant parcourt cet appareil qu'on nomme solénoïde, l'axe, ou la ligne qui passe par les centres de tous les cercles, se place parallèlement à l'aiguille aimantée, et les parties inférieures de tous les cercles sont traversées par le courant de l'est à l'ouest. Les deux extrémités se nomment, comme pour les aimants, pôles; l'un est le pôle nord et l'autre le pôle sud.

Il résulte encore de la première loi énoncée plus haut que les pôles semblables de deux solénoïdes se repoussent et que les pôles contraires s'attirent.

Enfin, un courant rectiligne agissant sur un solénoïde comme sur une série de courants circulaires, l'axe du solénoïde se place perpendiculairement à la direction du conducteur fixe.

Tous ces effets s'observent facilement au moyen de l'appareil d'Ampère (*fig.* 17) qui permet de rendre mobile un solénoïde parcouru par un courant.

40. Électro-magnétisme. — La grande analogie qui existe entre les aimants et les solénoïdes doit faire supposer qu'ils agissent les uns sur les autres de la même manière qu'ils agissent entre eux séparément. C'est, en effet, ce qui résulte de l'expérience. Le pôle d'un aimant attire le pôle contraire d'un solénoïde et repousse le pôle semblable; de sorte qu'un aimant peut être considéré comme un solénoïde dont les cercles, lorsqu'il est orienté, sont parcourus à la partie inférieure par un courant allant de l'est à l'ouest.

On peut dès lors prévoir les actions que les courants exercent sur les aimants. Cette partie de la physique se nomme électro-magnétisme.

41. Action des courants sur l'aiguille aimantée. — Une aiguille aimantée, placée près d'un courant, est déviée; elle tend à se placer normalement au courant. Le sens de la déviation change en même temps que la direction du courant.

Une règle extrêmement simple permet de se rendre compte dans tous les cas du sens de la déviation.

Il faut se supposer couché dans le courant, les pieds placés du côté du pôle positif et la tête du côté du pôle négatif; en

regardant l'aiguille, on verra toujours le pôle nord se mouvoir vers la droite et le pôle sud vers la gauche.

L'aiguille ne peut se placer dans une position exactement perpendiculaire au courant à cause de l'action de la terre, mais elle s'en approche d'autant plus que l'intensité du courant est plus forte et la distance moindre.

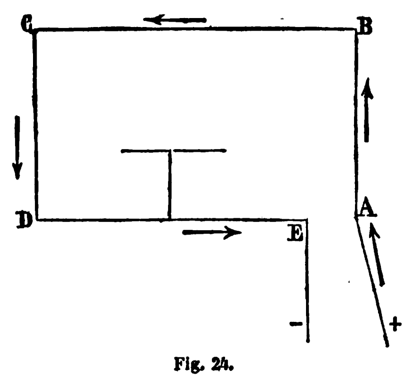


Fig. 24.

Une aiguille aimantée, mobile autour de son centre, au milieu d'un cadre ABCDE (*fig.* 24) traversé par le courant, est soumise aux actions déviatrices des quatre côtés du cadre; il est facile de voir, en analysant, d'après la règle précédente, l'effet produit par chacun des côtés, qu'ils tendent tous à faire dévier l'aiguille dans le même sens.

Si, au lieu d'un seul tour sur le cadre, le fil conducteur en forme plusieurs, les actions de chaque tour s'ajoutent et la force qui fait dévier l'aiguille est proportionnelle au nombre de tours.

42. **Galvanomètre.** — Le galvanomètre est fondé sur ces principes; c'est un instrument qui sert à reconnaître le passage du courant électrique dans un conducteur. Il se compose d'une aiguille aimantée placée sur un pivot (*fig.* 25), ou suspendue par un fil de cocon, au centre d'un cadre autour duquel est enroulé, un certain nombre de fois, un fil de cuivre recouvert de soie; dans l'état ordinaire, l'aiguille prend la position de l'axe magnétique et le cadre doit être placé suivant la même direction. Dès qu'un courant traverse le fil, l'aiguille dévie et indique le sens du courant par celui de la déviation. Un limbe gradué et divisé en 360 degrés est placé sur l'instrument, et l'angle que forme l'aiguille avec sa position normale représente la déviation.

L'aiguille étant cachée par le cadre, on fixe ordinairement, sur l'aiguille d'acier et à angle droit, une seconde aiguille en cuivre dont l'extrémité se meut au-dessus de l'arc gradué.

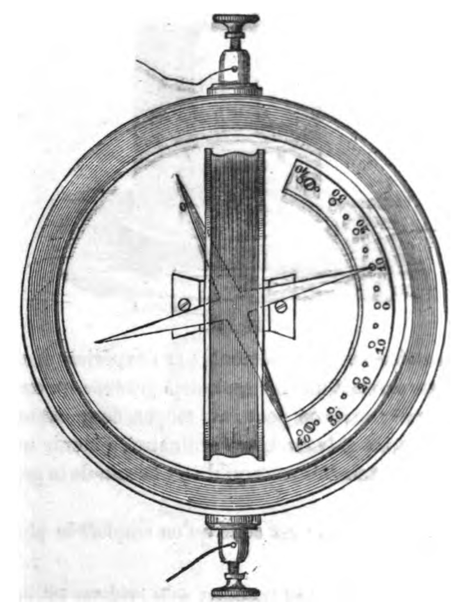


Fig. 25.

La déviation augmente avec l'intensité du courant, mais ne lui est pas proportionnelle; elle ne peut jamais dépasser 90°.

On peut rendre le galvanomètre beaucoup plus sensible en plaçant au-dessus du cadre une seconde aiguille aimantée suspendue au même fil que la première (*fig.* 26) et dont les pôles soient disposés en sens contraire. L'influence de la terre est nulle sur ce système, et le plus faible courant suffit pour faire dévier l'aiguille.

43. — Lorsqu'on veut se servir d'un galvanomètre pour connaître l'intensité d'un courant, il faut d'abord le graduer, c'est-à-

dire déterminer les déviations qu'il donne pour des intensités connues d'avance.

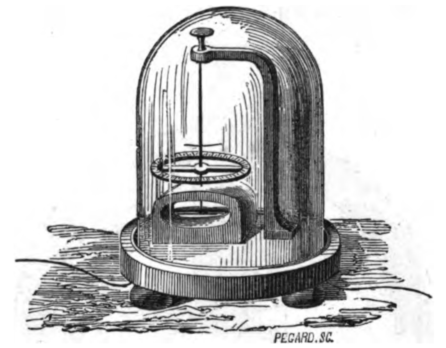
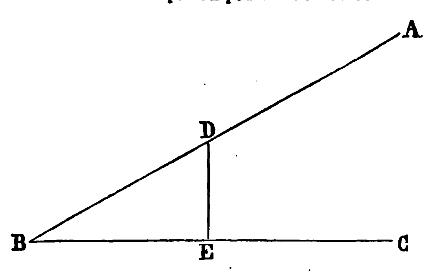


Fig. 26.

Cette opération se fait aisément par l'expérience, soit directement, soit en prenant une boussole déjà graduée qu'on place dans le même circuit; mais on peut, au moyen de quelques modifications apportées au galvanomètre ordinaire, obtenir une boussole qui indique les intensités sans qu'il soit besoin de la graduer préalablement.

La boussole de Sinus[1] est celle qu'on emploie le plus générale-

1. Le sinus d'un angle ABC est le rapport de la longueur DE de la perpendiculaire abaissée sur un des côtés par un point D de l'autre côté à la longueur



BD. Il existe des tables qui donnent la valeur des sinus pour tous les angles de 0° à 90°.

ment ; elle diffère du galvanomètre ordinaire en ce que le cadre est mobile (*fig.* 27).

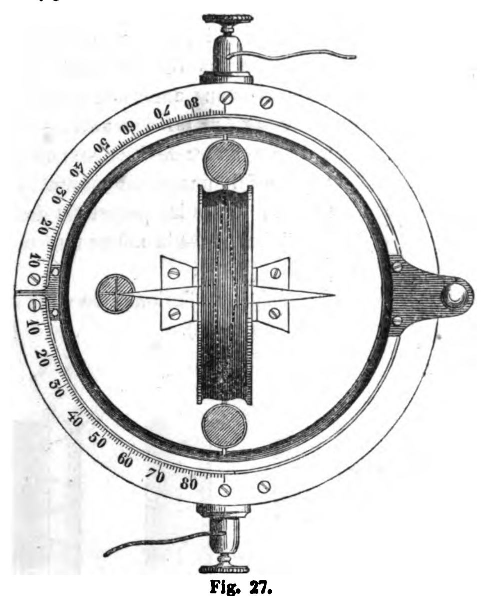


Fig. 27.

Quand l'aiguille dévie sous l'action du courant, on fait tourner le cadre en l'avançant sur l'aiguille dont la déviation augmente naturellement ; mais en continuant à déplacer le cadre dans le même sens, il arrive un moment où l'aiguille s'arrête dans son plan. L'angle de rotation du cadre représente la déviation.

Les intensités de deux courants sont proportionnelles aux sinus des angles de déviation qu'ils produisent avec la même boussole [1]. Ainsi, supposons que deux courants donnent 30° et 45°, les sinus de ces deux angles étant 0,50 et 0,70, les intensités seront entre elles comme les nombres 5 et 7.

1. *Voir* la note 3 à la fin de l'ouvrage.

Il peut arriver, si le courant est trop fort, que l'aiguille avance jusqu'à 90° sans s'arrêter; on dit alors que la boussole renverse. Elle ne peut servir à mesurer l'intensité du courant que si on diminue le nombre des tours du fil qui entoure le cadre.

Quand les angles ne dépassent pas 15°, on peut regarder les intensités comme proportionnelles aux angles de déviations.

44. Aimantation du fer doux par les courants. — Lorsqu'on enroule en hélice, autour d'un cylindre de fer doux, un fil conducteur recouvert de soie et qu'on fait passer un courant dans ce fil, le cylindre de fer doux prend toutes les propriétés des aimants. La disposition des piles de l'aimant est la même que celle du solénoïde qui entoure le cylindre (§ 39).

Il est donc aisé de voir quelle sera l'orientation dans les quatre cas qui peuvent se présenter (*fig.* 28).

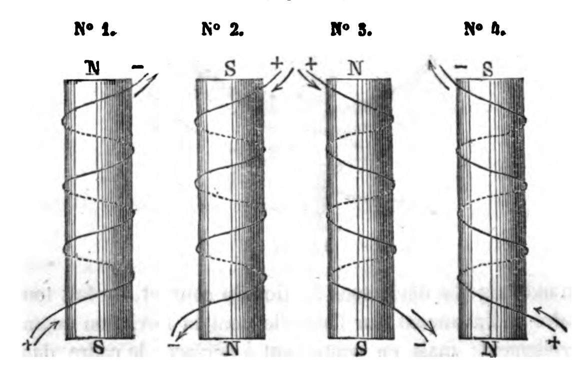


Fig. 28.

On nomme *dextrorsum* les hélices dont les spires vont de gauche à droite, n°s 1 et 2, et *sinistrorsum* celles dont les spires vont de droite à gauche, n°s 3 et 4. Pour les premières, le pôle nord de l'aimant est placé du côté du pôle négatif de la pile, le contraire a lieu pour les autres.

Un cylindre de fer doux ainsi entouré d'un fil conducteur s'appelle électro-aimant.

La force magnétique développée dans le fer doux par le courant

est proportionnelle à son intensité et au nombre de tours du fil conducteur, quand les tours ne dépassent pas une certaine limite d'éloignement (environ 12 à 15 millimètres). Elle peut être extrêmement énergique ; ainsi, on peut faire supporter à un électro-aimant jusqu'à 1,000 kilogrammes. Nous verrons plus loin[1] les conditions que doit remplir le fil conducteur pour communiquer à l'électro-aimant la plus grande puissance possible, quand la pile et les différentes parties du circuit sont déterminées d'avance.

On forme ordinairement les électro-aimants de deux tiges de fer doux AB et CD, réunies par une lame transversale également en fer doux EF (*fig.* 29), et entourées de deux bobines M et N de

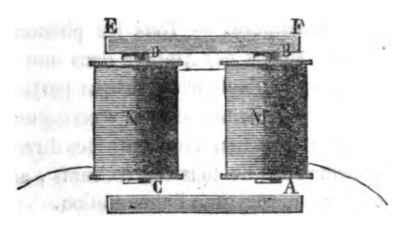


Fig. 29.

fil de cuivre recouvert de soie que le courant traverse en sens inverse.

L'aimantation a lieu au moment même où le courant commence à traverser le fil conducteur, elle cesse dès que le circuit est rompu.

Le fer n'étant pas entièrement dépourvu de force coercitive, il reste toujours quelques traces d'aimantation qui sont d'autant plus sensibles que le magnétisme développé a été plus considérable.

Lorsqu'on renverse le sens du courant, le sens de l'aimantation change aussitôt.

Le fer peut s'aimanter et se désaimanter, sans l'action du courant, plusieurs milliers de fois par seconde.

On peut employer cette propriété pour reconnaître, dans un fil

1. *Voir* la fin du second chapitre.

conducteur, le passage d'un courant lorsqu'on n'a pas de galvanomètre à sa disposition.

45. Une aiguille d'acier, placée dans une hélice traversée par un courant, s'aimante également, mais elle conserve son aimantation lorsque le courant cesse.

L'aiguille, étant préalablement aimantée, acquiert sous l'action du courant une aimantation plus forte si elle est placée dans un sens convenable par rapport à l'hélice; dans le cas contraire, elle perd une partie de son magnétisme et peut même s'aimanter en sens contraire. L'aimantation de l'aiguille dépend surtout de l'énergie du courant et très-peu du temps pendant lequel le courant circule dans l'hélice.

46. **Hypothèse d'Ampère.** — Tous les phénomènes électromagnétiques ont été réunis par Ampère dans une même théorie qui consiste à admettre qu'autour de chaque particule d'un corps magnétique il existe de petits courants électriques. Dans l'état ordinaire, ces courants ont lieu dans toutes les directions; l'orientation dans le même sens de tous ces courants, sous l'influence d'une action étrangère, constitue l'aimantation.

Le passage d'un courant dans le fil qui entoure un électro-aimant tend à donner à tous ces petits courants une même direction et, par suite, à produire l'aimantation du fer.

La force coercitive est alors la résistance qu'éprouvent ces petits courants à changer de direction.

47. **Induction.** — Il est une autre série de phénomènes que nous devons signaler parce qu'ils peuvent avoir une certaine influence en télégraphie.

Considérons (*fig.* 30) deux circuits voisins et parallèles sur une partie de leur parcours : le premier ZMNQRC en communication avec les deux pôles Z et C d'une pile, et interrompu aux points Q et R; le second ABGD fermé au moyen du fil d'un galvanomètre G. Lorsqu'on réunit les deux points R et Q, le courant traverse le premier conducteur suivant le sens indiqué par les flèches; on observe dans le second conducteur, à l'instant de la fermeture du circuit, un courant de sens contraire au premier, allant par conséquent de A en B. Ce courant, qu'on nomme

courant induit, est instantané, c'est-à-dire qu'il dure infiniment peu, bien que le conducteur MN continue à être traversé par le

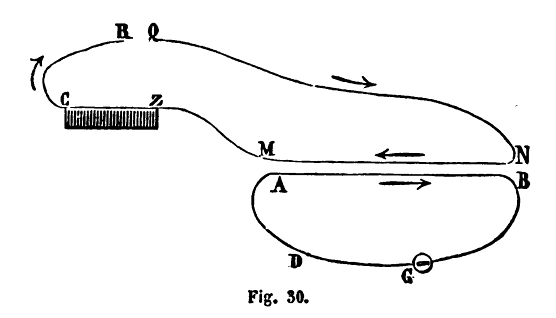


Fig. 30.

courant de la pile. Au moment où on rompt le circuit en RQ, un nouveau courant induit traverse ABGD en sens contraire du précédent (de B en A).

On observe encore des courants induits dans le conducteur AB, quand, au lieu de fermer et d'ouvrir le circuit voisin en R et Q, on laisse passer le courant d'une manière permanente, et qu'on approche ou qu'on éloigne MN et AB. Le courant induit persiste tant que dure le mouvement; il est d'autant plus fort que le rapprochement ou l'éloignement sont plus rapides. Dans le premier cas, il est de sens contraire au courant MN; dans le second, il est de même sens. Les effets sont analogues lorsque le courant MN reste à une distance constante du conducteur AB et qu'il augmente ou diminue d'intensité [1].

Le courant induit est proportionnel à l'étendue des fils en présence, MN et AB; aussi, emploie-t-on, pour donner aux phénomènes d'induction une certaine intensité, des bobines de fil recouvert, telles que AB et CD (*fig.* 31), dont l'une, AB, forme le circuit

1. L'induction est évidemment causée par les actions attractives et répulsives des molécules électriques. La tension différente aux diverses parties d'un circuit produit, dans un conducteur voisin, une disposition nouvelle du fluide électrique dont le mouvement constitue le courant induit.

induit, et l'autre, CD, mise en communication avec la pile, forme le circuit inducteur.

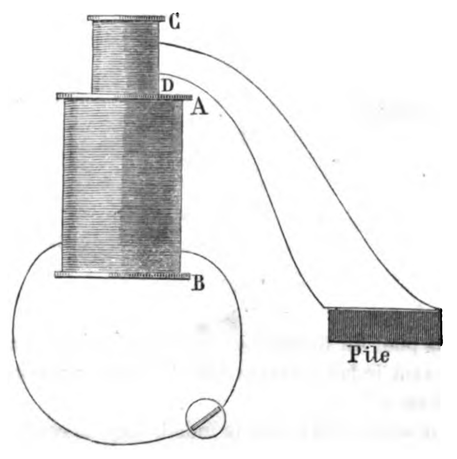


Fig. 31.

L'énergie du courant induit est, de plus, singulièrement augmentée, si, dans l'intérieur des deux bobines, on place un cylindre de fer doux.

Les courants d'induction sont analogues aux courants instantanés qui proviennent de la décharge d'un conducteur ordinaire électrisé; ils donnent des étincelles assez fortes en passant entre deux pointes rapprochées et produisent des effets physiologiques remarquables.

48. Un aimant qu'on éloigne ou qu'on approche d'une bobine de fil recouvert, produit également des courants d'induction que l'hypothèse d'Ampère sur la constitution des courants explique suffisamment. Quand on place dans la bobine un barreau de fer doux, les courants d'induction augmentent notablement d'intensité, puisqu'à l'effet du rapprochement de l'aimant s'ajoute celui de l'aimantation du fer doux.

On a utilisé cette propriété pour obtenir, sans le secours de

piles, de forts courants électriques. Qu'on imagine, en effet, un électro-aimant AB (*fig.* 32), en face duquel un aimant EF peut

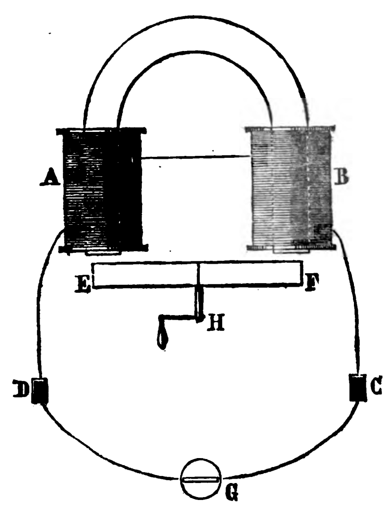


Fig. 32.

tourner autour d'un axe H qui passe par son centre; chaque demi-révolution de l'aimant donnera lieu à un courant induit dans le fil DABCG. Le courant changera de sens chaque fois que l'aimant passera en face de l'électro-aimant, et sera d'autant plus fort que le mouvement de rotation sera plus rapide.

Quand on enlève le fil extérieur DGC et que l'on tient à la main les deux extrémités D et C, on ressent de violentes commotions.

Au lieu de faire tourner l'aimant devant l'électro-aimant, on rend souvent l'aimant fixe et l'électro-aimant mobile. Enfin on obtient le même résultat en plaçant un aimant en fer à cheval dans les deux bobines de fil recouvert et en faisant mouvoir en face un barreau de fer doux.

Il est d'ailleurs facile, au moyen d'un mécanisme assez simple

à imaginer, de faire toujours passer suivant le même sens le courant dans le conducteur extérieur CGD.

On a essayé d'employer les courants induits pour la télégraphie électrique ; mais, bien qu'on ait quelquefois réussi, on y a renoncé, parce que l'intensité est trop variable avec le mouvement des parties mobiles.

En faisant mouvoir, au moyen de machines spéciales, un appareil semblable, on obtiendrait des courants continus et réguliers qui pourraient être utilisés pour la galvanoplastie, l'éclairage électrique, la décomposition des sels métalliques, etc.

49. — Les courants agissent sur eux-mêmes par induction. Au moment où l'on rompt le circuit d'un courant, il se manifeste en sens contraire un courant d'induction qui augmente beaucoup d'énergie si le conducteur est enroulé en spirale sur une certaine longueur et surtout si un barreau de fer doux est placé dans cette spirale.

50. **Lois des courants électriques.** — Les propriétés des courants, que nous venons d'examiner, se manifestent avec une énergie proportionnelle à leur intensité. Il est donc essentiel de connaître les rapports qui lient la composition d'un circuit avec l'intensité du courant qui le traverse, afin de pouvoir déterminer les conditions les plus favorables, suivant les effets qu'on veut obtenir.

Le courant est produit par le mouvement des molécules électriques dans un conducteur, et la quantité d'électricité qui traverse, dans l'unité du temps, une section quelconque, représente précisément son intensité. La première conséquence est que l'intensité est la même à tous les points d'un même circuit, quelles que soient, d'ailleurs, la nature et la dimension des corps qui en forment les différentes parties, de même que dans un fleuve la quantité d'eau qui traverse une section dans un temps donné est la même partout, bien que certaines portions puissent avoir des largeurs différentes.

En suivant la décomposition du fluide neutre dans la pile, on voit en outre que le mouvement électrique doit avoir lieu dans les corps qui la composent, comme il a lieu dans le conducteur qui unit les deux pôles ; ainsi elle est traversée (*fig.* 33) par le même

courant marchant du pôle zinc au pôle cuivre, s'il marche du pôle cuivre au pôle zinc dans le conducteur extrême.

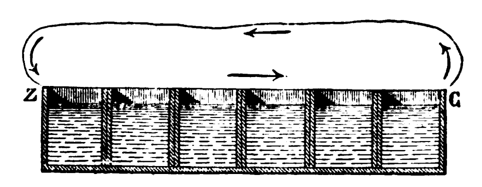


Fig. 33.

Cette loi se vérifie aisément par l'expérience en faisant agir, sur une aiguille aimantée, deux portions égales, mais placées en sens contraire d'un même circuit (*fig.* 34). L'aiguille reste stationnaire.

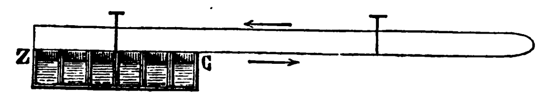


Fig. 34.

La propagation de l'électricité dans un circuit tient à la répulsion des molécules électriques et à la résistance que les corps offrent à ce mouvement. L'intensité dépend donc en premier lieu de la tension produite par la pile, c'est-à-dire de la nature des surfaces en contact qui, par leur action chimique, opèrent la décomposition du fluide neutre et du nombre des éléments, ou, en d'autres termes, de la force électro-motrice; elle est, en outre, en raison inverse de la résistance qu'offre le circuit, et, pour le calcul de cette résistance, il faut tenir compte des corps qui forment la pile aussi bien que des conducteurs extérieurs. Quant à cette résistance, elle dépend de la nature des corps qui composent le circuit de leur section et de leur longueur.

Ces lois sont trop importantes pour que nous n'entrions pas dans de plus grands détails.

51. — Soit une pile P (*fig.* 35) aux deux pôles de laquelle sont placés deux fils conducteurs ZA et CB, un galvanomètre G étant disposé sur le parcours du fil CB. Si on réunit au moyen

d'un fil AMB les deux points A et B, le courant s'établit et fait dévier l'aiguille du galvanomètre. La déviation et par suite l'intensité du courant augmentent si on remplace le fil AMB par un autre de même métal et de même section, mais plus court ANB, ou de même longueur, mais d'une section plus grande; elles diminuent si on le remplace par un fil de même section et plus long, ou de même longueur et d'une section moindre. L'intensité reste la même, si le fil par lequel on remplace AMB est deux fois, trois fois, quatre fois plus long, mais si en même temps, sa section est double, triple ou quatruple de celle de AMB.

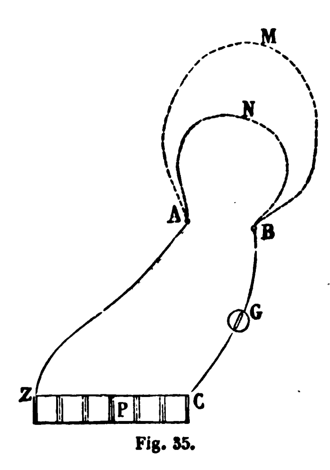


Fig. 35.

On peut donc, dans un circuit, remplacer un fil conducteur par un autre de même nature, si le rapport de la longueur à la section reste constant.

Quand les fils ANB et AMB ne sont pas de même nature, mais ont la même section, les longueurs qu'il faut, pour obtenir la même intensité du courant, sont inégales. Si le fil ANB doit être deux, trois ou quatre fois plus long que le fil AMB, on dit que sa résistance est deux, trois ou quatre fois moindre, ou, en d'autres termes, que sa conductibilité est deux, trois ou quatre fois plus grande.

Ainsi un fil peut en remplacer un autre de même section et de nature différente si le rapport de la longueur à la conductibilité est le même pour les deux fils.

Enfin, dans le cas plus général où les deux fils sont de section inégale et de nature différente, ils auront la même résistance et produiront le même effet dans un circuit si les rapports des longueurs aux produits des sections par les conductibilités sont égaux.

Considérons maintenant un fil ayant pour section l'unité de

surface et dont la conductibilité soit prise pour unité; une certaine longueur de ce fil pourra toujours, dans un circuit, remplacer un conducteur quelconque; on la nomme longueur réduite ou résistance, et on l'obtient en prenant le rapport de la longueur du conducteur au produit de sa section par sa conductibilité [1]. Ainsi, par exemple, la longueur d'un fil de cuivre de 1 millimètre carré de section qui présenterait la même résistance qu'un fil de fer de 3 millimètres carrés de section et d'une longueur égale à 800 mètres, sera :

$\frac{800}{3 \times \frac{1}{6}}$ ou 1600^m, $\frac{1}{6}$ étant la conductibilité du fer par rapport au cuivre.

52. — Le rhéostat est un instrument qui sert à comparer par l'expérience les résistances. Il se compose d'un fil très-fin dont on peut faire à volonté varier la longueur. On le met dans un circuit muni d'un galvanomètre à la place du conducteur dont on cherche la résistance, et l'on augmente ou l'on diminue la longueur du fil jusqu'à ce que la déviation de l'aiguille du galvanomètre soit égale à celle que donnait le conducteur. La longueur ainsi obtenne est la longueur réduite prise par rapport au fil du rhéostat.

On peut donner aux rhéostats différentes formes; celle qu'on adopte ordinairement est celle de la figure 36. A et B sont deux cylindres munis d'un pas de vis, dont l'un A est en bois et l'autre B en cuivre. Un fil fin de cuivre ou de laiton est enroulé sur le cylindre de bois dans toute sa longueur; il est fixé par une extrémité à la vis M et par l'autre au cylindre de cuivre.

Quand on fait mouvoir la manivelle D, les deux cylindres tour-

1. En désignant par l, s et k, par l', s' et k', les longueurs, sections et conductibilités de deux conducteurs, la résistance qu'ils offrent au courant sera la même si $\frac{l}{sk} = \frac{l'}{s'k'}$.

Supposons que le second fil ait pour section l'unité de surface et que sa conductibilité soit prise pour unité, l'équation deviendra $\frac{l}{sk} = l'$.

nent en sens contraires, et le fil de cuivre se déroule de l'un des cylindres pour s'enrouler sur l'autre.

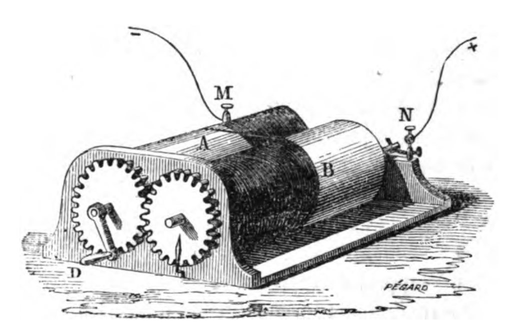


Fig. 36.

Si l'on attache l'un des pôles de la pile à la vis M, et l'autre à la vis N qui communique avec le cylindre de cuivre, le courant traversera tout le fil qui est enroulé sur le cylindre de bois puisque les tours des fils sont séparés et que le bois est mauvais conducteur; arrivé au cylindre de cuivre, le courant passera du fil sur le cylindre lui-même et ira directement à la vis N en suivant le cylindre dont on peut négliger la résistance.

En résumé, dans une position quelconque, la résistance que le fil du rhéostat offre au courant est seulement celle du fil qui entoure le cylindre de bois et dont on connaît aisément la longueur d'après le nombre de tours.

On pourrait se borner à tendre horizontalement un fil extrêmement fin sur une planche, à le faire communiquer d'un côté avec l'un des pôles de la pile, et à promener au-dessus en appuyant légèrement un ressort relié à l'autre pôle.

La résistance de tout le fil du rhéostat étant souvent inférieure à celle du conducteur soumis à l'expérience, on lui ajoute des bobines de fil recouvert dont on a déterminé d'avance la longueur réduite et qu'on fait traverser par le courant lorsqu'il est nécessaire.

Au lieu de prendre pour unité le fil de platine ou de cuivre du

rhéostat, on prend souvent le fil conducteur employé dans les circonstances ordinaires ; ainsi pour les lignes électriques de France, on exprime les résistances en kilomètres de fil de fer de 4^{mm} de diamètre. On dit, par exemple, que le fil qui entoure un électro-aimant présente une résistance de 200 ou de 300 kilomètres de fil de 4^{mm} de diamètre.

On doit alors, lorsqu'on veut faire des expériences avec un rhéostat, déterminer préalablement la longueur qui correspond à un kilomètre de fil de la ligne, ce qui ne peut présenter aucune difficulté.

53. — Le rhéostat peut servir à déterminer la conductibilité des différents corps. Il suffit, pour faire cette opération, de prendre des fils formés des différentes substances, mais de longueurs et de sections égales, et de chercher les longueurs réduites qui leur correspondent ; les conductibilités sont en raison inverse de ces longueurs. Pour les liquides on les place dans des tubes de verre dont le diamètre est connu.

On trouve ainsi que les longueurs de fil du rhéostat qu'il faut pour remplacer des fils semblables de cuivre, de fer, de platine, sont entre elles comme les nombres 1, 6, 4 ; les conductibilités sont donc, le cuivre étant pris pour unité :

Cuivre 1

Fer. . . . . $\frac{1}{6}$

Platine . . . . $\frac{1}{4}$

On trouve de même pour le mercure. . . . $\frac{1}{38}$

Pour une solution saturée de sulfate de fer. . . $\frac{1}{27,000,000}$

Pour une solution saturée de sulfate de cuivre. $\frac{1}{16,000,000}$

Supposons qu'on veuille connaître la résistance qu'offre une dissolution de sulfate de cuivre renfermée d'une manière quel-

conque entre deux plaques conductrices ayant un décimetre carré de section et situées à une distance d'un décimètre. La dissolution offre la même résistance qu'un fil de cuivre de même section dont la longueur serait 16,000,000 fois plus grande, c'est-à-dire, égale à 1,600,000^{m}, ou qu'un fil de cuivre ayant pour section 1 millimètre carré dont la longueur serait 160 mètres.

Si l'on veut prendre pour unité le fil de fer ayant 4^{mm} de diamètre, il faut multiplier 160 par le nombre de millimètres carrés que contient la section du fil de fer qui est environ 12, et par $\frac{1}{6}$ qui représente sa conductibilité par rapport au cuivre. Ainsi en résumé la dissolution offre la même résistance qu'un fil de fer de 4^{mm} de diamètre dont la longeur serait 320 mètres.

Les liquides sont, comme on voit, beaucoup moins conducteurs que les métaux.

54. — Les lois sur l'intensité des courants peuvent se déterminer par une série d'expériences assez simples à concevoir et que nous n'indiquerons pas ici [1]. Elles peuvent s'énoncer ainsi :

L'intensité d'un courant est proportionnelle à la force électromotrice et en raison inverse de la somme des résistances ou longueurs réduites de tous les corps qui composent le circuit, en y comprenant ceux qui forment la pile.

La force électro-motrice est proportionnelle au nombre d'éléments et indépendante de leur surface; elle ne varie qu'avec la nature des corps en contact dans la pile.

Exemple : Supposons que sur un circuit de 150 kilomètres de longueur, 20 éléments donnent une intensité de courant connue, et que la résistance de chaque élément soit 3 kilomètres de fil de même nature que celui du circuit, l'intensité produite par une pile de 30 éléments semblables sur un conducteur de 300 kilomètres se déterminera par la proportion :

1. Elles ont été trouvées par MM. Ohm et Pouillet. (*Voir* la note 4 à la fin de l'ouvrage.)

$$x : 1 :: \frac{30}{300+30\times 3} : \frac{20}{150+20\times 3}$$

$$\text{ou } x : 1 :: 105 : 130$$

L'intensité ne sera que les $\frac{105}{130}$ de l'intensité qu'on avait avec 20 éléments sur le conducteur de 150 kilomètres.

Si on fait agir sur le second circuit 30 éléments de pile formés des mêmes corps que les premiers, mais d'une dimension différente, ayant, par exemple, une surface quatre fois plus grande, la résistance de chaque élément nouveau ne sera plus que $\frac{3}{4}$ de kilomètre. En conservant toutes les mêmes données, on aura la proportion :

$$x : 1 :: \frac{30}{300+30\times \frac{3}{4}} : \frac{20}{150+20\times 3}$$

$$x : 1 :: 42 : 43$$

L'intensité du nouveau courant sera égale à l'intensité produite par les 20 éléments sur le premier circuit multipliée par $\frac{42}{43}$.

La comparaison des forces électro-motrices et la détermination des résistances des piles se font avec le rhéostat en cherchant les intensités du courant pour des longueurs de circuit différentes[1].

La dimension des éléments n'entre donc dans le calcul de l'intensité que par la résistance qu'ils produisent, laquelle est en raison inverse de leur étendue.

Il est évident que dans la longueur réduite du conducteur extérieur, on doit faire entrer la résistance des fils qui entourent les galvanomètres où les électro-aimants, des liquides que traverse le courant, etc.

55. Les lois qui précèdent peuvent servir à déterminer la

1. *Voir* la note 5 à la fin de l'ouvrage.

forme de pile qui convient le mieux suivant la nature du conducteur extérieur.

Admettons en premier lieu qu'il ait une très-grande résistance devant laquelle on puisse ne pas tenir compte de celle de la pile, 300 à 400 kilomètres par exemple. On pourra, pour longueur réduite de tout le circuit, considérer seulement ce conducteur ; l'intensité sera proportionnelle au nombre d'éléments et ne dépendra pas de leurs dimensions.

Il est clair, en effet, qu'en doublant le nombre des éléments, on double la force électro-motrice sans augmenter sensiblement la résistance, tandis qu'en doublant la surface des éléments on ne change pas la force électro-motrice et on ne diminue que très-peu la résistance. L'intensité est presque doublée dans le premier cas et n'est pas sensiblement augmentée dans le second. Il sera donc convenable d'employer un grand nombre d'éléments et de leur donner de petites dimensions.

En second lieu, si le conducteur extérieur a une très-faible résistance, en augmentant le nombre des éléments de la pile, on augmente très-sensiblement la longueur réduite du circuit en même temps que la force électro-motrice, et par conséquent l'intensité n'est pas sensiblement modifiée; tandis qu'en donnant aux éléments des dimensions plus considérables, la force électo-motrice reste, il est vrai, constante, mais la résistance diminue et par suite l'intensité du courant augmente. On emploiera dans ce cas peu d'éléments et on leur donnera de grandes surfaces [1].

Quand on réunit directement, sans conducteur intermédiaire, les deux pôles d'une pile, l'intensité est la même, quel que soit le nombre des éléments; elle est exactement proportionnelle à leur étendue.

Nous indiquerons encore la loi suivante due à Faraday, et remarquable par sa grande simplicité : la dépense d'un élément de pile dans un temps donné, ou la quantité de matière des corps qui, en se combinant, produisent l'électricité, est proportionnelle à l'in-

1. *Voir* la note 6 à la fin de l'ouvrage.

tensité du courant qui le traverse. Quand la pile est composée de plusieurs éléments, la dépense totale est proportionnelle au nombre des éléments et à l'intensité du courant.

Cette loi n'est pas rigoureusement vraie, puisque, lorsqu'on plonge une lame de zinc dans l'acide sulfurique, la combinaison peut avoir lieu sans conducteur extérieur; mais on peut la regarder comme suffisamment exacte, surtout pour les piles à courant constant que nous examinerons plus loin et qui sont les seules employées dans l'industrie.

56. Courants dérivés. — Lorsque, dans un circuit traversé par un courant, on établit des communications nouvelles entre deux points, le courant se partage et on dit qu'il y a dérivation.

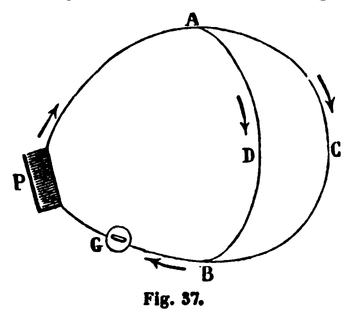


Fig. 37.

Soit PACBG (*fig.* 37) un circuit comprenant une pile P, et un galvanomètre G. Si on réunit par un nouveau fil ADB les deux points A et B, l'intensité du courant général est modifiée, et les deux fils ADB et ACB sont parcourus par deux courants qu'on nomme courants dérivés.

La quantité d'électricité qui traverse les deux conducteurs ADB et ACB est évidemment égale à celle qui passe par une section du conducteur BPA; par conséquent, la somme des intensités suivant les deux fils est égale à l'intensité générale du courant dans le circuit et dans la pile. La résistance des deux conducteurs BDC et BCA réunis est moindre que celle que chacun d'eux offre séparément; aussi l'intensité du courant augmente-t-elle toujours par suite de l'addition d'un fil de dérivation.

Si les deux fils sont de même nature et ont la même longueur et la même section, ils pourront se remplacer par un fil unique qui aurait la même longueur, mais une section double, ou en d'autres termes une résistance moitié moindre. Dans ce cas, le courant se divise en deux parties égales suivant les deux conducteurs.

Quand les deux fils ont la même longueur, mais des sections différentes, le courant se divise inégalement et la quantité d'électricité qui traverse chaque fil est proportionnelle à sa section, de même que pour un fleuve, quand il existe une bifurcation, la quantité d'eau qui passe par chaque bras est proportionnelle à sa largeur. La résistance des deux conducteurs réunis est la même que celle d'un fil unique de même longueur et dont la section serait la somme des sections des deux fils.

Enfin, si les deux conducteurs ADB et ACB sont de nature, de longueur et de section différente, on peut toujours concevoir qu'on les remplace par deux fils de même nature et de longueur égale, dont les sections soient en raison inverse des résistances de chacun des conducteurs. Ils produisent sur le circuit l'effet d'un seul fil qui aurait cette longueur commune et dont la section serait la somme des deux sections ainsi calculées. Le courant se divise au point de jonction en deux parties proportionnelles à ces sections, ou en raison inverse des résistances des deux fils.

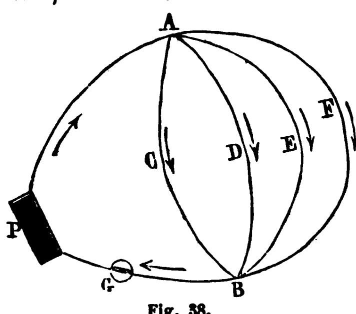


Fig. 38.

Au lieu d'une seule dérivation, il peut en exister plusieurs aboutissant aux mêmes points A et B (*fig.* 38), ACB, AEB, AFB. Si tous ces fils sont de même nature et de même longueur, mais de section différente, on peut les remplacer tous par un seul fil ayant cette longueur commune et une section égale à la somme de celles de tous les fils, comme s'ils étaient réunis en un seul faisceau. Le courant se divise en A suivant tous ces conducteurs proportionnellement aux sections de chacun d'eux.

Si les fils ne sont pas de même nature et n'ont pas la même longueur, on reviendra au cas précédent en supposant qu'on les remplace tous par d'autres fils de même métal et d'égale longueur, en calculant les sections qu'ils devraient avoir.

Souvent les dérivations n'aboutissent pas aux mêmes points (*fig.* 39). Pour déterminer la marche du courant dans un semblable

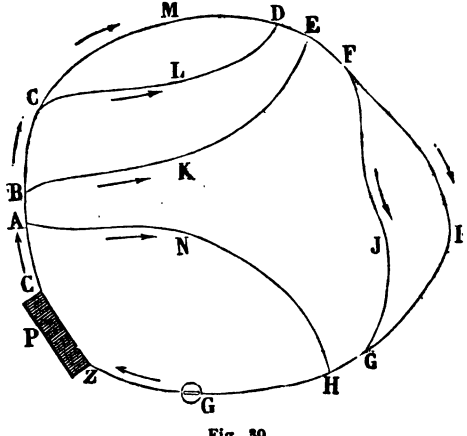


Fig. 39.

circuit, on doit d'abord chercher l'intensité générale du courant, en ACGH, qu'on déduit de la force électro-motrice de la pile et de la résistance de tout le circuit, ou de la longueur d'un fil unique qui pourrait remplacer tous les conducteurs représentés dans la figure. Pour faire cette opération, on calcule la résistance des portions du circuit qui aboutissent aux mêmes points, par exemple la longueur réduite d'un seul fil qui offrirait la même résistance que les deux conducteurs réunis, CMD et CLD. On arrive, en procédant ainsi pour tout le système, à trouver la résistance totale et par suite l'intensité générale. En suivant ensuite une marche inverse, c'est-à-dire en décomposant à chaque bifurcation A, B, C, etc., la marche du courant d'après les résistances connues des conducteurs, on parvient à déterminer l'intensité en chaque point du circuit [1].

Il peut se présenter des cas plus complexes encore, lorsque les

1. *Voir* la note 7 à la fin de l'ouvrage.

fils dérivants sont eux-mêmes réunis par d'autres conducteurs ; mais dans la pratique ils sont assez rares.

57. **Vitesse de l'électricité.** — La vitesse de l'électricité est la longueur d'un conducteur que le fluide peut parcourir dans l'unité de temps.

On a d'abord cherché cette vitesse en déchargeant une bouteille de Leyde au moyen de longs conducteurs terminés par des boules assez voisines A, B, C, D, E, et F. En mettant l'armature extérieure en communication avec la boule F, et l'armature intérieure avec la boule A (*fig.* 40), on voit trois étincelles électriques éclater

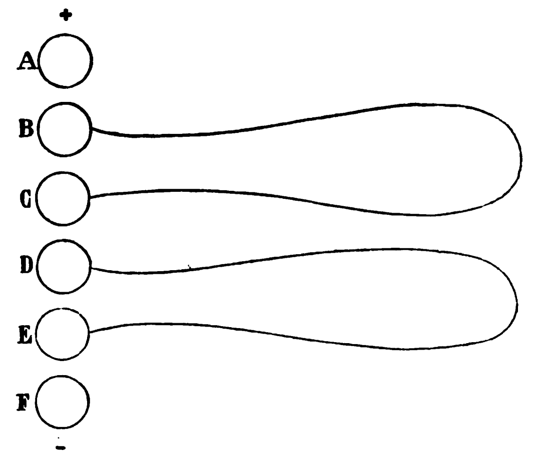


Fig. 40.

presque simultanément entre les boules F et E, D et C, B et A. Par cette méthode, on a trouvé pour la vitesse de l'électricité 460,000 kilomètres par seconde.

De nouvelles expériences, faites sur les lignes électriques de France avec l'électricité des piles ordinaires, ont donné des résultats bien différents. La vitesse de l'électricité est, paraît-il, variable avec la nature des fils conducteurs. Dans le fer, elle est de 101,000 kilomètres et dans le cuivre de 177,000 kilomètres par seconde.

Nous verrons plus loin que cette vitesse varie également avec

la nature des lignes électriques ; elle est beaucoup plus faible pour les lignes souterraines et sous-marines que pour les lignes dont les conducteurs sont placés en l'air [1].

58. **Conductibilité de la terre.** — Lorsqu'on met en communication avec la terre deux points d'un circuit, de façon à remplacer par le sol une partie du conducteur extérieur à la pile, le courant se produit, bien que les couches qui forment l'enveloppe extérieure de la terre soient peu conductrices.

Pour connaître la résistance que le sol offre au passage du courant, il suffit d'enlever les deux plaques qui plongent en terre, A et B (*fig.* 41), et de les relier par l'intermédiaire du fil d'un

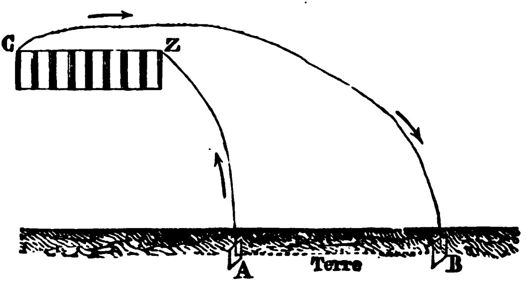


Fig. 41.

rhéostat. La longueur de ce fil, qui donne lieu à la même intensité de courant, représente cette résistance.

Quand cette expérience n'est pas possible, on peut néanmoins déterminer la résistance en reliant les plaques A et B par un fil de longueur et de conductibilité connues, en prenant le rapport des intensités.

Cette résistance est d'autant plus faible que les plaques A et B ont une étendue plus considérable et que le terrain qui les avoisine est plus conducteur.

Lorsque ces plaques ont d'assez grandes dimensions, la résistance de la couche qui sépare les points A et B est extrêmement

1. *Voir* la note 8 à la fin de l'ouvrage.

faible; elle ne varie pas sensiblement avec la distance des deux plaques, à partir d'une certaine limite.

Dans tous les calculs relatifs à la télégraphie, on peut regarder cette résistance comme absolument nulle; ainsi, dans la figure 41, la résistance totale du circuit est seulement celle de la pile et des deux fils ZA et CB.

Le rôle de la terre, dans ce phénomène, a soulevé de grandes discussions parmi les savants; les uns considèrent la terre comme un conducteur d'une section infiniment grande et dont la résistance, pour cette raison, est très-faible; les autres regardent la terre non comme un conducteur ordinaire réunissant les deux pôles de la pile, mais comme un réservoir absorbant aux extrémités les deux électricités à mesure qu'elles se forment [1].

PILES A COURANT CONSTANT.

59. Nous avons vu qu'une lame de zinc plongée dans l'acide sulfurique donne lieu à un courant, quand on réunit par un fil métallique l'acide et le zinc, et qu'on peut former une pile composée de doubles disques de zinc et cuivre séparés par un acide. L'eau cède son oxygène au zinc et le résultat de l'action chimique est du sulfate de zinc et de l'hydrogène. L'intensité du courant ainsi produit décroît assez rapidement. Les principales causes de cette diminution sont :

Le transport sur le cuivre de l'hydrogène, provenant de la décomposition de l'eau, qui forme une sorte de gaîne isolante ;

L'impureté du zinc dont la surface peu homogène donne lieu à de petits courants secondaires ;

La décomposition du sulfate de zinc que le courant produit dans la pile elle-même comme dans une dissolution extérieure.

Pour remédier à l'impureté du zinc, on l'amalgame en le recouvrant d'une légère couche de mercure.

1. *Voir* la note 9 à la fin de l'ouvrage.

On empêche le dégagement d'hydrogène au moyen d'acide azotique qui, en cédant une partie de son oxygène, reconstitue l'eau, ou en remplaçant l'acide sulfurique par du sulfate de cuivre.

Enfin, on a eu l'idée de séparer le zinc et le cuivre dans chaque élément par un corps poreux qui empêche le mélange des liquides dans lesquels ils sont plongés sans nuire à l'action chimique.

On a formé, d'après ces principes, plusieurs piles, dites à courant constant dont les principales sont la pile de Daniell, celle d Grove et celle de Bunsen.

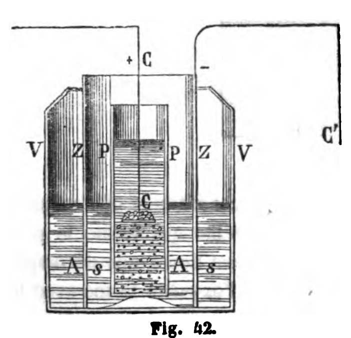


Fig. 42.

60. **Pile Daniell.** — La pile Daniell (*fig.* 42) se compose d'un vase en verre VV, dans lequel est placé un vase en terre poreuse PP; entre le vase en verre et le vase poreux, un cylindre de zinc ZZ plonge dans de l'eau pure ou dans de l'acide sulfurique étendu d'eau. Dans le vase poreux, on verse une dissolution de sulfate de cuivre. Le pôle négatif est le zinc, le pôle positif une lame de cuivre C plongée dans la dissolution de sulfate. Le zinc décompose le sulfate de cuivre en acide sulfurique, oxygène et cuivre, s'unit à l'oxygène et à l'acide sulfurique pour former du sulfate de zinc; le cuivre pur se dépose au fond du vase poreux.

Pour réunir plusieurs éléments, on termine le zinc par une queue recourbée en cuivre C' qui plonge dans le vase poreux de l'élément suivant.

On remplace le sulfate à mesure qu'il est décomposé, en déposant des cristaux de sulfate de cuivre au fond du vase poreux.

Cette pile est d'une constance remarquable et d'un entretien facile; bien qu'elle ait une force électro-motrice peu considérable, on l'emploie presque exclusivement en télégraphie.

61. **Pile de Grove.** — Elle comprend, comme la précédente, un vase poreux placé dans un vase en verre. Dans le dernier, on

verse de l'acide sulfurique étendu d'eau et dans l'autre de l'acide azotique (*fig.* 43). On fait plonger dans l'acide sulfurique un cy-

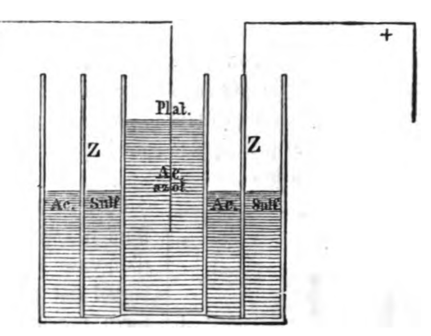


Fig. 43.

lindre ou une lame en zinc amalgamé qui constitue le pôle négatif, et dans l'acide azotique une lame de platine qui forme le pôle positif. Le zinc et l'acide sulfurique donnent lieu à une décomposition de l'eau en oxygène et hydrogène; l'oxygène forme avec le zinc et l'acide sulfurique du sulfate de zinc; l'hydrogène décompose à son tour l'acide azotique, reconstitue l'eau avec une partie de son oxygène et met en liberté l'acide hypo-azotique. Quant au platine, il n'est pas attaqué par l'acide azotique; sa présence favorise l'action chimique [1]. Cette pile, dont la résistance est assez faible, produit des courants très-énergiques.

62. **Pile Bunsen.** — Elle diffère de la précédente en ce que la lame de platine est remplacée par un cylindre de charbon.

Ce cylindre ouvert à ses deux bouts s'emboîte dans le vase en verre (*fig.* 44), et porte à la partie supérieure un cercle de cuivre muni d'un bouton à vis. Le vase poreux contient un cylindre de zinc amalgamé qui porte une queue destinée à être reliée au cercle de cuivre de l'élément suivant. L'acide azotique se verse dans le vase en verre et l'acide sulfurique dans le vase poreux.

1. C'est un genre d'influence assez commun en chimie et qu'on désigne sous le nom de force catalytique.

La théorie chimique de cette pile est identiquement la même que celle de la pile de Grove, le charbon jouissant jusqu'à un

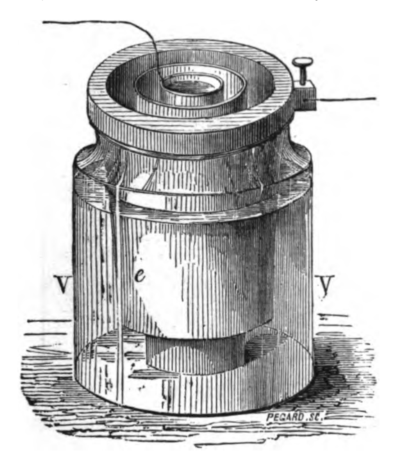


Fig. 44.

certain point de la même propriété que le platine, de favoriser la combinaison de l'hydrogène mis en liberté et de l'oxygène de l'acide azotique. Le cercle de cuivre forme le pôle positif et la queue du zinc le pôle négatif.

Le charbon étant poreux, l'acide azotique monte par capillarité jusqu'au cercle de cuivre et l'altère assez rapidement.

On donne souvent aux éléments Bunsen la forme de la figure 45.

VV, vase en verre contenant l'acide azotique; PP, vase poreux contenant l'acide sulfurique; CC, lames épaisses de charbon; ZZ, lames de zinc.

Le charbon de chaque élément est réuni au zinc de l'élément suivant par une plaque de cuivre GH. L'avantage de cette disposition consiste dans la plus grande facilité avec laquelle on obtient le charbon en lames.

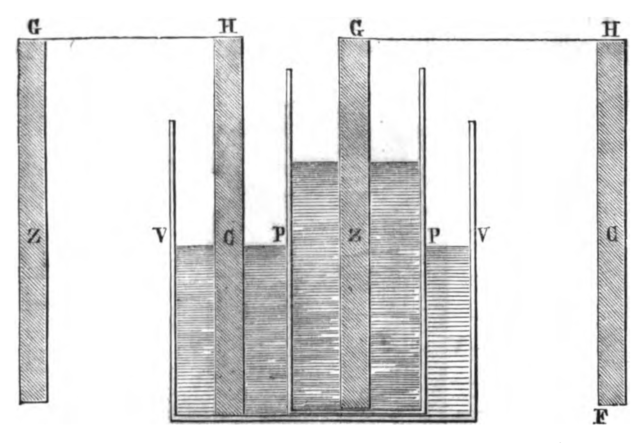


Fig. 45.

ÉLECTRICITÉ ATMOSPHÉRIQUE.

63. — L'électricité, qui joue un grand rôle dans tous les phénomènes atmosphériques, ne peut manquer d'agir sur les fils conducteurs des lignes télégraphiques.

L'atmosphère est presque constamment chargée d'électricité. Cette électricité, due à l'évaporation de l'eau à la surface de la terre et aux actions chimiques qui s'opèrent pendant la végétation, est presque toujours positive ; répandue dans l'air, elle agit par influence sur la surface de la terre qu'elle électrise négativement.

Les nuages qui se forment à l'état de brouillard sur la terre, sont donc en général électrisés négativement ; quelquefois pourtant ils le sont positivement.

Quand deux nuages, chargés d'électricités contraires, sont en présence et que la tension est assez forte pour vaincre la résistance de l'air, une étincelle éclate entre les deux nuages et produit le phénomène connu sous le nom d'éclair ; le bruit qui l'accompagne provient de la vibration de l'air que cette décharge met en mou-

vement et qui se prolonge en se répercutant contre les couches atmosphériques de densités différentes.

La décharge a lieu ordinairement entre un nuage électrisé négativement et la terre. Considérons, en effet (*fig.* 46), un nuage M

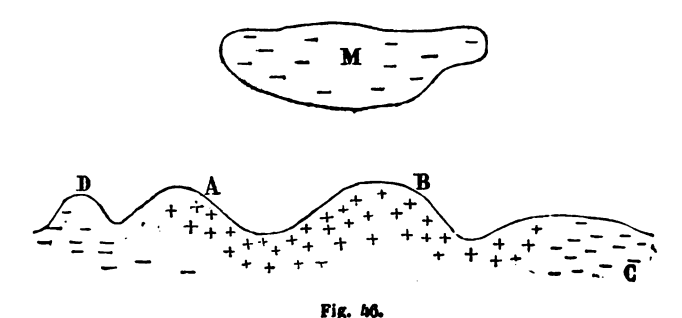


Fig. 46.

placé à une certaine distance du sol, il agit par influence sur la masse de fluide neutre répandue à la surface du sol, attire sur les points voisins A et B l'électricité positive et refoule l'électricitié négative en D et C. Il s'établit un état d'équilibre qui dépend de la distance du nuage à la terre et de sa charge électrique. Lorsque la tension atteint une certaine limite, la recomposition s'opère et un éclair éclate entre le nuage et la terre. Cette décharge a lieu sur les points les plus voisins du nuage qui sont plus fortement électrisés. L'électricité positive accumulée en face du nuage étant neutralisée, les parties voisines D et C reviennent immédiatement à l'état neutre. Ce mouvement électrique qui constitue le choc en retour, peut produire sur les corps animés des effets analogues à ceux de la foudre, même à d'assez grandes distances du point où a eu lieu la décharge.

Les paratonnerres sont de longues tiges en fer placées sur le sommet des édifices, qu'on fait communiquer avec la terre par des chaînes conductrices. Ils sont destinés à recevoir la décharge électrique du nuage, en préservant les bâtiments sur lesquels ils sont posés.

L'électricité libre des nuages se perd souvent sans produire

d'orage, soit par les gouttes de pluie qui entraînent le fluide, soit par la rencontre de deux nuages chargés d'électricités contraires, soit enfin par le contact permanent des nuages électrisés négativement et de l'atmosphère électrisée positivement.

L'électricité atmosphérique explique plusieurs phénomènes naturels, tels que la grêle, les trombes, les aurores boréales, etc.....

La décharge atmosphérique agit sur l'aiguille aimantée comme un fort courant instantané; elle en produit quelquefois la désaimantation et souvent même l'aimantation en sens contraire.

CHAPITRE II.

Principes généraux de la télégraphie électrique.

64. — Communiquer rapidement une dépêche d'un point donné à un autre plus ou moins éloigné, tel est le but qu'on s'est proposé d'atteindre en créant la télégraphie.

Un seul signal, répété à des intervalles différents, à l'une des stations, et qui puisse être facilement observé à l'autre, suffit pour composer un alphabet ou un vocabulaire.

Le courant électrique, pouvant se transmettre à de longues distances avec une intensité suffisante pour que son passage y soit constaté, remplit merveilleusement toutes les conditions. En faisant varier le nombre et la durée des passages successifs du courant, il est aisé de former autant de combinaisons qu'il est nécessaire pour obtenir une correspondance complète et facile. On pourrait également faire varier l'intensité du courant pour augmenter le nombre des signaux élémentaires; mais on préfère ne pas employer ce caractère parce que l'observation de cette intensité serait assez difficile et que d'ailleurs l'état de l'atmosphère a une assez grande influence sur la transmission de l'électricité.

Un système de télégraphie électrique doit toujours comprendre: un fil conducteur isolé qui réunisse deux stations, et à chacune de ces stations une pile électrique, un appareil destiné à envoyer le courant sur la ligne ou manipulateur et un instrument destiné à observer son passage lorsqu'il est envoyé de l'autre station ou récepteur.

La terre peut, comme nous l'avons vu au n° 58, compléter le circuit, de sorte qu'un seul fil conducteur est suffisant. L'un des pôles de la pile et l'un des côtés du récepteur sont mis en communication avec le sol, et le circuit complet est formé par la pile, le manipulateur, la ligne, le récepteur du poste correspondant et la terre.

Le même fil devant servir pour le passage des signaux dans les deux sens, il est nécessaire qu'à chacune des stations le récepteur soit en communication avec la ligne lorsque le courant de cette station ne passe pas.

MANIPULATEURS.

65. — Le manipulateur sert à faire communiquer à volonté le fil de la ligne avec l'un des pôles de la pile ou avec le récepteur.

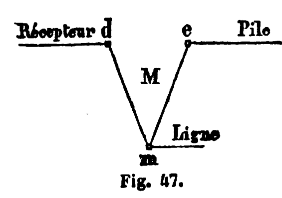


Fig. 47.

Il se compose, en général, d'une tige *md* (*fig.* 47) mobile autour d'un point *m* en communication avec le fil conducteur. Cette tige peut être amenée contre deux boutons *e* et *d* dont l'un correspond au récepteur et l'autre à l'un des pôles de la pile.

On voit (*fig.* 48) la disposition de deux postes correspondants A et A′ séparés par la ligne XX′. M et M′ sont les manipulateurs,

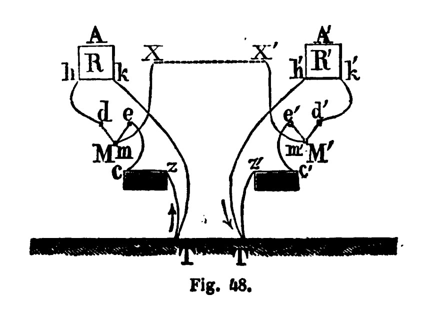


Fig. 48.

R et R′ les récepteurs, P et P′ les piles. Le courant part de la sta-

tion A et suit la marche *c e m* X X′ *m′ d′ k′*; il traverse le récepteur R et le circuit se complète par *h′* T′ T *z*.

Quand la ligne n'est pas en transmission, les deux tiges des manipulateurs sont sur *m d* et *m′ d′*.

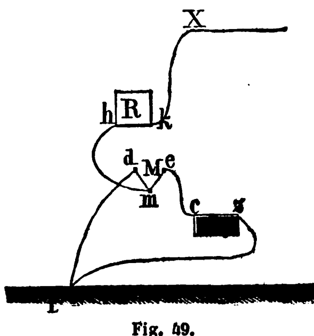


Fig. 49.

On veut quelquefois que le récepteur de chacune des stations puisse accuser les signaux envoyés par cette station en même temps que ceux du poste correspondant. Il suffit de placer le récepteur entre la tige mobile du manipulateur et la ligne. Le manipulateur établit alors la communication alternativement avec l'un des pôles de la pile et avec la terre (*fig.* 49).

On envoie le courant sur la ligne en mettant la tige du manipulateur M suivant la direction *m e*. En la plaçant suivant *m d* on reçoit le courant du poste correspondant. Dans les deux cas le courant traverse le récepteur R.

Enfin pour quelques appareils il est nécessaire de pouvoir changer le sens du courant.

Le manipulateur doit pouvoir alternativement et à volonté remplir chacune des trois conditions suivantes :

1° Faire communiquer le récepteur avec le fil de la ligne (position de réception);

2° Établir la communication entre le pôle positif de la pile et le fil de la ligne, et entre le pôle négatif et la terre;

3° Établir la communication entre le pôle négatif de la pile et le fil de la ligne, et entre le pôle positif et la terre.

On peut arriver au résultat par différentes dispositions. Nous en verrons un exemple quand nous décrirons les appareils anglais à aiguille.

La forme du manipulateur varie naturellement suivant les appareils qu'il est destiné à faire fonctionner. Le but qu'on doit se proposer d'atteindre est d'obtenir la plus grande concordance

possible entre les signaux que doit indiquer le récepteur et la manœuvre qu'il faut faire pour l'émission du courant.

RÉCEPTEURS.

66. — Chacune des propriétés du courant pourrait donner lieu à un appareil spécial, mais celles dont on fait ordinairement usage sont : l'action du courant sur l'aiguille aimantée, l'aimantation du fer doux et la décomposition des sels sous l'influence du courant.

Appareils à l'aiguille. — Un simple galvanomètre tel que nous l'avons décrit au n° 42 suffit pour constituer un appareil télégraphique. Une aiguille aimantée placée dans un cadre autour duquel est enroulé un fil conducteur dévie sous l'action du courant, et le sens de la déviation dépend de celui du courant.

Dans la combinaison des signaux on fera donc entrer le nombre et le sens des déviations de l'aiguille. Ainsi, par exemple, deux déviations à gauche représenteront la lettre A, trois déviations à gauche la lettre B, une à gauche et une à droite la lettre D, et ainsi de suite.

67. — **Appareils à électro-aimant.** — L'aimantation du fer doux, sous l'action du courant électrique, fournit une très-grande variété d'appareils.

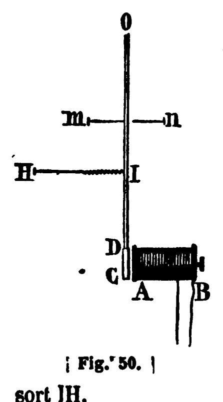


Fig. 50.

Considérons (*fig.* 50) un électro-aimant AB, c'est-à-dire un cylindre de fer doux autour duquel un fil de cuivre très-fin recouvert de soie fait un grand nombre de circonvolutions.

Au moment du passage du courant dans ce fil le cylindre s'aimante, et si une petite palette en fer doux CD mobile, autour d'un point O, est placée vis-à-vis, elle est attirée. Dès que le courant est interrompu, l'électro-aimant n'attire plus la palette qui revient à sa position primitive, si elle est sollicitée en sens contraire par un petit ressort IH.

L'électro-aimant conservant toujours quelques traces de magnétisme, le petit ressort doit avoir une tension un peu supérieure à l'attraction qui résulte de cette faible aimantation.

Il est nécessaire en outre que la tige de la palette soit arrêtée par deux petites vis *m* et *n* qui limitent sa course ; la vis *m* empêche la palette de céder à l'action du ressort IH.

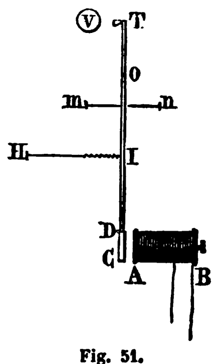


Fig. 51.

Qu'on prolonge la tige de la palette en la terminant par un petit marteau T (*fig.* 51), et qu'en face de ce marteau on fixe un timbre V, chaque mouvement de la palette produira un son, et l'on peut imaginer un alphabet formé par la succession de ces sons. Un seul coup, par exemple, représentera la lettre A, deux coups rapprochés la lettre B, deux coups rapprochés suivis d'un autre à un intervalle de temps un peu plus grand, la lettre C, etc...

Enfin qu'on remplace le marteau placé à l'extrémité de la tige par une plume imbibée d'encre, un crayon ou une pointe sèche, et le timbre par un papier qui se déroule d'un mouvement uniforme, les signaux s'écriront sur cette bande. On pourra même alors faire varier la durée du passage du courant et obtenir des traits et des points qui donneront un alphabet plus simple que dans le cas précédent.

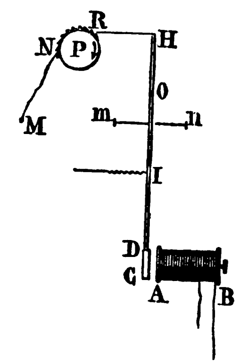


Fig. 52.

68. — Le mouvement alternatif de la palette peut être transformé en un mouvement de rotation. Concevons, en effet, à l'extrémité H de la tige de la palette (*fig.* 52) un ressort HR terminé par une petite pointe R engagée entre deux dents de la roue dentée P, un autre ressort MN fixé en M empêchant d'ailleurs cette roue de tourner dans un autre sens que celui indiqué par la flèche ; chaque fois que la palette sera attirée, le

ressort HR sera poussé vers la gauche et son extrémité R passera sur une dent voisine de la roue ; lorsque la palette reviendra à sa position, la roue entraînée tournera d'un cran. S'il y a vingt-six dents et que devant chacune on ait écrit une lettre, chaque lettre passera successivement au sommet de la roue. La lettre A se trouvant par exemple en haut, un premier passage de courant autour de l'électro-aimant amènera la lettre B, un second la lettre C, etc...

La force magnétique qu'il faut développer pour faire tourner une roue, bien que faible, est souvent supérieure à celle que l'on peut obtenir lorsqu'on transmet à de grandes distances ; on a eu l'idée de faire produire la rotation par un mouvement d'horlogerie, c'est-à-dire un système de roues dentées engrénant les unes avec les autres et mises en mouvement par un poids ou un ressort [1]. L'une de ces roues, nommée roue d'échappement, est arrêtée par la tige de la palette, et à chaque mouvement de cette palette une seule dent peut passer.

Le nombre des dents correspondra au nombre de signes qu'on veut former, et les signaux ou lettres pourront être marqués sur la roue d'échappement.

Ordinairement l'axe de la roue d'échappement communique son mouvement à une aiguille placée à l'extérieur de l'appareil, et c'est cette aiguille qui indique les signes sur un cadran fixe.

69. — En résumé, les appareils télégraphiques fondés sur l'aimantation du fer doux sous l'action du courant ont tous une partie commune, savoir : un électro-aimant, une palette en fer doux fixée à l'extrémité d'une tige mobile, un petit ressort de rappel et deux vis qui limitent la course de la tige de la palette.

L'aimantation qui reste dans l'électro-aimant après le passage du courant est d'autant plus forte que le courant a été plus intense, par conséquent la tension du ressort de rappel, qui doit dépasser d'une très-faible quantité l'attraction résultant de cette aimantation, doit varier avec l'intensité du courant. On fait usage

1. *Voir* la note 16 à la fin de l'ouvrage.

généralement d'un ressort à boudin dont l'extrémité est fixée à un fil enroulé sur un petit axe ; on change la tension en tournant cet axe.

On a proposé différents moyens pour supprimer ce ressort de rappel ou éviter l'opération qu'il faut faire pour le régler lorsque l'intensité du courant varie, mais aucun n'a été adopté en France jusqu'à ce jour [1].

70. — Si la palette mobile en face de l'électro-aimant au lieu d'être en fer doux, comme nous l'avons supposé jusqu'à présent, était en acier aimanté, elle ne serait attirée que lorsque le courant déterminerait dans l'électro-aimant une aimantation inverse ; elle serait repoussée dans le cas contraire et resterait immobile si elle était retenue par la pointe placée en face de la tige.

On peut concevoir d'après ce principe un appareil (*fig.* 53)

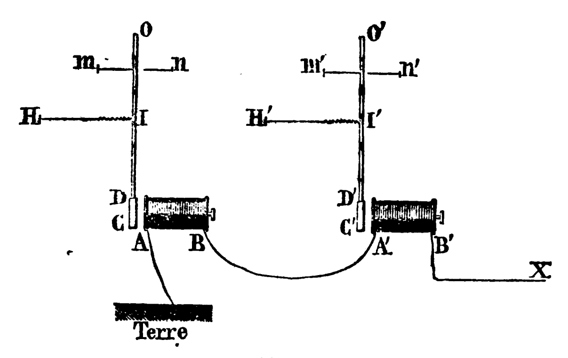


Fig. 53.

formé de deux électro-aimants AB, A'B' dont les bobines soient disposées de façon que le courant, venant de la ligne X, les traverse toutes les deux dans le même sens avant d'aller à la terre, et de deux palettes mobiles CD et C'D' en acier aimanté dont les pôles soient placés en sens contraire. Quand le courant traversera l'appareil, une seule des palettes, CD par exemple, sera attirée, et

1. *Voir* le 8e chapitre.

quand le sens du courant changera, l'autre seule sera mise en mouvement.

Comme la palette en acier aimanté est attirée par le fer doux, même lorsque le courant ne passe pas, il faut que le ressort de rappel ait une assez grande tension pour vaincre cette résistance.

71. **Appareils électro-chimiques.** — Nous avons vu au n° 36 que, si deux fils reliés aux pôles d'une pile plongent dans une dissolution d'un sel tel que le sulfate de cuivre, il se produit une décomposition; l'acide sulfurique et l'oxygène se portent à l'électrode positif et le cuivre à l'électrode négatif. Quand le métal qui constitue l'électrode positif est du fer, il se forme du sulfate de fer.

Admettons un instant que le sulfate de fer soit un sel insoluble et d'une couleur foncée, noire par exemple. Chaque fois que le courant traversera la dissolution, la portion du liquide qui avoisine le fil de fer se colorera en noir.

Au lieu de faire plonger les deux fils dans la dissolution de sulfate de cuivre, on pourrait placer l'électrode positif en fer sur un papier imprégné de cette dissolution et l'électrode négatif directement au-dessous. Le courant traverserait alors le papier et la même action chimique ayant lieu, le point sur lequel appuierait le fil de fer se colorerait en noir.

Enfin, si, par un moyen quelconque, on faisait dérouler le papier entre les deux électrodes et si l'on produisait des interruptions de courant, chaque fois que le circuit de la pile serait fermé, la pointe de fer laisserait une trace noire sur le papier.

Le sulfate de fer se dissout et est incolore, la dissolution de sulfate de cuivre ne peut donc être employée; mais il existe d'autres substances qui peuvent donner lieu avec le fer à un sel fortement coloré, le prussiate de potasse par exemple.

Il sera facile de former un appareil récepteur fondé sur cette propriété. Que l'on fasse, en effet, communiquer une pointe de fer avec le fil conducteur d'une ligne et que le papier préparé se déroule sur un cylindre communiquant avec la terre, si la pointe touche le papier, elle laissera une trace pendant tout le temps que le courant sera envoyé par le poste correspondant. On

obtiendra aussi des traits ou des points suivant le temps pendant lequel le courant aura passé.

72. Relais d'appareils. — Au lieu de faire passer le courant directement dans le récepteur qui exige quelquefois pour marcher une force magnétique assez considérable, on emploie souvent un second appareil, nommé relais, construit d'après les principes énoncés au n° 67, et qui a pour but unique de faire passer dans le récepteur le courant d'une pile spéciale. Le plus petit mouvement de la palette suffit pour produire cet effet.

Cette pile, dont le courant ne doit circuler que dans l'intérieur du poste, est bien distincte de la pile dont le courant doit être envoyé au poste correspondant; on l'appelle, à cause de sa desti nation, *pile locale*.

On obtient ce résultat (*fig.* 54) en fixant la pointe *n* placée en face de la tige de la palette du relais R à l'un des pôles de la pile

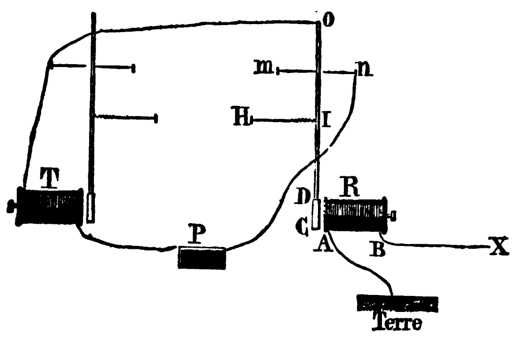


Fig. 54.

locale P et la tige elle-même à l'autre pôle par l'intermédiaire du fil qui entoure l'électro-aimant T de l'appareil à signaux.

Le courant qui vient de la ligne par le fil XB se rend à la terre après avoir parcouru le fil de l'électro-aimant du relais.

Au moment du passage du courant, la palette CD est attirée contre l'électro-aimant AB, la tige OD touche la vis *n*, le circuit de la pile locale se trouve fermé et l'électro-aimant T s'aimante.

Dès que le courant de la ligne ne passe plus, le circuit de la pile locale se rompt, et l'électro-aimant T revient à l'état naturel.

Il est clair que le manipulateur doit se trouver sur le parcours du fil BX, de façon à établir la communication de la ligne alternativement avec la pile et avec le relais qui seul reçoit le courant du poste correspondant.

TRANSLATION.

73. Translateurs. — La distance à laquelle le courant peut se transmettre avec une intensité suffisante, pour faire fonctionner les appareils, a une limite. En effet, outre que le nombre des éléments de la pile devrait être trop considérable, l'isolement des lignes n'étant jamais parfait, il se produit des dérivations du courant et par suite un affaiblissement graduel de son intensité depuis le point d'où il est envoyé.

Pour remédier à cet inconvénient et faire communiquer deux postes quelle que soit la distance qui les sépare, on place, en certains points intermédiaires, des relais de ligne, ou translateurs qui, en recevant le courant d'un des côtés de la ligne, mettent l'autre côté en communication avec le pôle d'une pile.

Si un seul des postes voisins devait envoyer le courant, il suffirait d'employer une disposition analogue à celle de la figure 54. Le courant du poste qui doit transmettre, X, irait à la terre après avoir aimanté l'électro-aimant R; la vis n serait en communication avec l'un des pôles de la pile du poste intermédiaire, l'autre pôle étant en communication avec la terre ; enfin, la palette ODC serait reliée au fil sur lequel on veut envoyer le courant.

Mais lorsque le second poste voudrait transmettre, son courant arriverait seulement à la palette ODC, et aucun courant ne passerait sur la ligne BX. Il faut donc, pour obtenir ce double relais, employer deux systèmes d'électro-aimants.

Soient XY et X'Y' (*fig.* 55) les deux lignes pour lesquelles la translation doit avoir lieu, AB et A'B' deux électro-aimants en face

desquels se meuvent deux palettes ODC, O'D'C'. Il faut que lorsque le courant arrive du poste Y, le courant de la pile P soit envoyé sur la ligne X'Y'; cette ligne doit donc communiquer avec

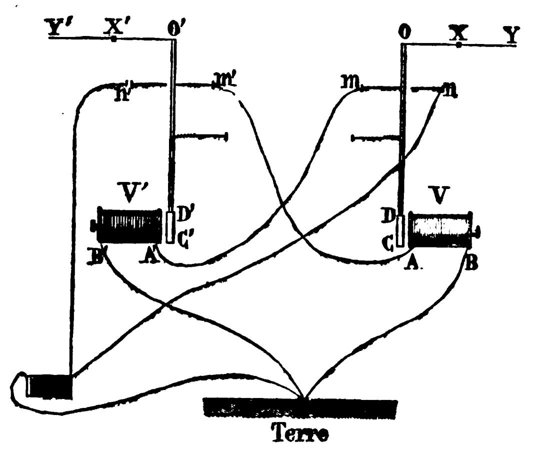


Fig. 55.

la tige de la palette O'D'C' et le bouton *n'* avec le pôle de la pile P. Quand la palette D'C' sera attirée par l'électro-aimant A'B', le courant passera en effet du bouton *n'* sur la ligne par l'intermédiaire de la tige.

Par la même raison, la ligne XY communiquera avec la tige OD et le bouton *n* avec le pôle de la pile P.

Le courant de la ligne XY devant aimanter l'électro-aimant A'B', on établira une communication entre le bouton *m* que touche la palette à l'état de repos et cet électro-aimant au moyen d'un fil *m*A'; un autre fil *m'*A fera également communiquer le bouton *m'* avec l'électro-aimant AB; enfin le pôle de la pile P, ainsi que les extrémités des fils qui entourent les électro-aimants seront en communication avec la terre.

Il est aisé de se rendre compte de la marche du courant pendant la translation. Si le courant vient de Y, il suivra la route

XO*m*A', passera autour de l'électro-aimant A'B' et se rendra à la terre. Au même moment, la tige O'D'C' attirée viendra toucher le bouton *n'*, et le courant de la pile P passera sur la ligne X'Y'. Quand le pôle Y' envoie le courant, la marche est analogue.

On voit en résumé que pour la ligne XY, la palette ODC constitue un véritable manipulateur et que le récepteur est le système V', tandis que pour la ligne X'Y', le manipulateur est la palette O'D'C' et le récepteur le système V.

On peut, dans le poste où se fait la translation, envoyer le courant sur la ligne XY en faisant mouvoir à la main la palette CD, et sur la ligne X'Y' en faisant mouvoir la palette C'D'.

74. — La grande analogie qui existe entre les relais et les appareils ordinaires a naturellement donné l'idée d'employer les récepteurs comme translateurs. Il suffit d'isoler les vis placées en face des palettes des deux appareils, et d'établir les communications que nous venons d'indiquer.

On adopte ordinairement une disposition un peu différente pour que chaque appareil corresponde, lorsqu'il fonctionne en translation, avec le même poste que lorsqu'il est employé comme appareil ordinaire.

M et M' (*fig.* 56) sont les deux manipulateurs, P la pile, V et V' les deux appareils destinés à servir de relais. Toutes les autres communications sont établies comme l'indique la figure. Les fils des deux lignes XY et X'Y' peuvent être mis en communication, soit avec les fils Fa et F'a', soit avec les fils GO' et G'O.

Dans le premier cas, les appareils fonctionnent à l'état ordinaire, le système V correspond à la ligne XY et le système V' à la ligne X'Y'.

Dans le deuxième, la translation est établie, le courant envoyé par le poste Y suit la route GO'n'abVT; il aimante l'électro-aimant V; la palette ODC vient toucher la vis *n* et le courant de la pile P est envoyé sur la ligne X'Y' par le fil OG'.

Pour correspondre avec l'un quelconque des postes extrêmes, par exemple Y, il suffit de faire mouvoir le manipulateur M ou la palette C'D'.

On pourrait placer entre les manipulateurs et les récepteurs la

bifurcation des fils qui servent à établir la translation au lieu de la laisser en F et F′ comme dans la figure 56.

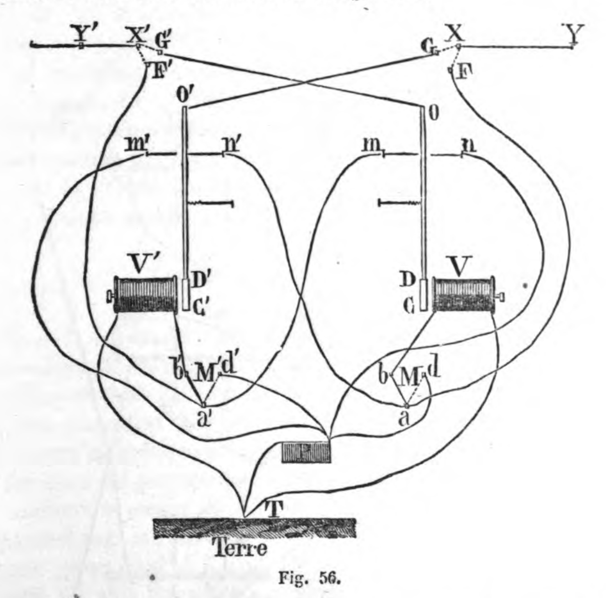


Fig. 56.

75. — Les appareils qui ne fonctionnent que par l'intermédiaire d'un petit relais (nº 72), peuvent être employés également pour la translation.

La figure 57 montre deux appareils ainsi disposés pour la translation entre deux postes extrêmes Y et Y′. R et R′ sont les petits relais, V et V′ les appareils à signaux, M et M′ les manipulateurs, Q et Q' les piles locales, P la pile dont le courant doit aller sur la ligne.

La translation s'établit en faisant communiquer X et G, X′ et G′ et la transmission ordinaire en faisant communiquer X et F, X′ et F′.

Supposons que les appareils soient en translation et que le poste correspondant Y envoie le courant. Il suit la route XGO′m′ab,

parcourt le fil du relais R et se rend à la terre. Le circuit de la pile locale Q se ferme ; la palette DC étant attirée, sa tige vient

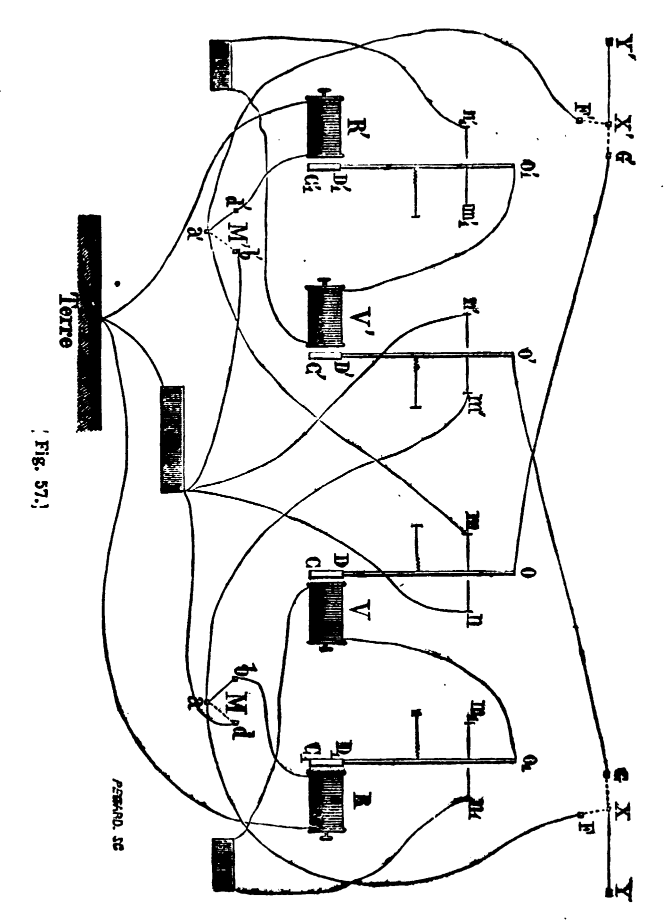


Fig. 57.

toucher le bouton *n* et le courant de la pile P passe sur la ligne X'Y'.

Cette disposition est celle qu'on adopte pour les appareils Morse. (*Voir* le chapitre IV.) Elle est évidemment la meilleure; car pour que la translation soit bonne, il est nécessaire que les tiges OD et O'D' pressent assez fortement les vis m, n, m' et n', et par conséquent que les ressorts de rappel aient une tension assez grande, ce qui ne peut avoir lieu que si la force magnétique développée sur les électro-aimants V et V' est considérable. Cette condition peut être facilement remplie dans le cas actuel, puisque le courant qui aimante V et V' est produit par une pile locale, dont on peut en augmenter à volonté la force.

OBSERVATIONS THÉORIQUES.

76. — Il doit exister entre la forme des piles qu'on emploie, les dimensions des fils des électro-aimants et la résistance des lignes certaines relations qui sont une conséquence des lois sur l'intensité des courants et qu'il importe de connaître.

La force magnétique développée par le courant sur un cylindre de fer doux est proportionnelle au nombre de tours que fait le fil conducteur autour de l'électro-aimant, lorsque les tours ne dépassent pas une certaine limite d'éloignement (nº 44); il en résulte qu'en général il faut un grand nombre de tours pour obtenir un effet magnétique sensible, mais comme, d'un autre côté, en augmentant le nombre de tours on augmente la résistance du circuit et que par suite on diminue l'intensité du courant, on comprend qu'il existe une certaine disposition du fil pour laquelle la force magnétique développée dans l'électro-aimant est maximum.

Le calcul et l'expérience prouvent qu'on obtient le plus grand effet lorsque la résistance du fil qui entoure l'électro-aimant est égale à celle de toute la ligne en y comprenant celle de la pile [1].

Il est aisé, du reste, de voir que lorsqu'on augmente ou que l'on diminue le nombre de tours à partir de cette limite, la force magnétique décroît.

1. *Voir* la note 11 à la fin de l'ouvrage.

Supposons en premier lieu qu'on double ce nombre. Comme le fil doit être contenu dans le même volume, il sera nécessaire d'en diminuer la section de moitié ; la résistance du fil qui était d'abord égale à celle de la ligne sera quatre fois plus grande puisque la longueur sera double et la section réduite de moitié. La résistance totale du circuit était égale à deux fois la longueur de la ligne entière ; elle sera dans le nouvel état égale à cinq fois cette longueur, et par suite l'intensité du courant sera réduite aux deux cinquièmes. Comme le nombre de tours est double, on doit multiplier cette intensité par 2 ; la force magnétique développée sur l'électro-aimant sera donc les quatre cinquièmes de ce qu'elle était quand la résistance des bobines était égale à celle de toute la ligne.

Si au contraire on diminue de moitié le nombre de tours, la section du fil sera double et la résistance des bobines ne sera plus que le quart de celle de la ligne. La résistance totale deviendra $1 + \frac{1}{4}$ ou $\frac{5}{4}$ au lieu de 2. L'intensité sera les $\frac{8}{5}$ de ce qu'elle était primitivement, et le nombre de tours étant moitié moindre, la force magnétique sera encore réduite aux quatre cinquièmes.

Ainsi la force magnétique développée diminue d'un cinquième quand le nombre de tours est doublé ou réduit de moitié.

Pour les appareils qui sont destinés à être mis en communication avec de longues lignes, le fil devra donc être très-fin et faire un très-grand nombre de tours sur l'électro-aimant.

Comme il est indispensable que les appareils puissent servir pour correspondre à différentes distances, on ne peut suivre exactement la règle que nous venons d'énoncer. On donne généralement aux bobines une résistance de 200 kilomètres ; l'unité étant le fil de quatre millimètres de diamètre qu'on emploie pour la construction des lignes électriques. Le nombre de tours que fait le fil des électro-aimants est d'environ 2,000.

Pour les appareils qui communiquent seulement avec une pile ocale par l'intermédiaire d'un relais, on emploie du fil assez gros et le nombre de tours est peu considérable.

77. — Les piles sont également soumises à différentes condi-

tions suivant leur emploi. Nous avons déjà examiné cette question au n° 54.

Les piles qui servent à envoyer le courant sur les lignes doivent être composées d'un grand nombre d'éléments de petite dimension.

Les piles locales qui fonctionnent dans l'intérieur des postes doivent être au contraire formées de peu d'éléments à grandes surfaces ou d'éléments composés de liquides très-conducteurs (comme dans la pile Bunsen).

A défaut de piles remplissant ces conditions, on arrive au même résultat en réunissant les pôles semblables de plusieurs éléments.

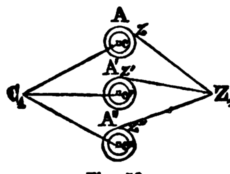


Fig. 58.

Ainsi, en reliant (*fig.* 58) les trois pôles cuivre *c*, *c'* et *c''*, et les trois pôles zinc *z*, *z'* et *z''* de trois éléments A, A' et A'', on forme un seul élément dont les pôles sont en C_1 et Z_1 et dont l'étendue est triple de celle de chacun des éléments pris isolément.

78. — Dans les postes auxquels plusieurs lignes viennent aboutir, la même pile peut servir pour plusieurs directions, et les différents courants envoyés simultanément ont sensiblement la même intensité que lorsqu'une seule ligne est en transmission. Les lois sur les courants dérivés expliquent ce fait.

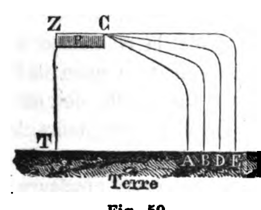


Fig. 59.

Soit une pile P (*fig.* 59) et plusieurs lignes de même longueur CA, CB, CD et CE; le courant se divise au point C, et l'intensité suivant chacune des lignes étant en raison inverse de sa résistance, si elles ont la même longueur, le courant sera le même dans toutes les directions.

L'intensité totale du courant où la somme des intensités partielles est égale à la force électro-motrice de la pile divisée par la résistance totale, c'est-à-dire celle de la pile, du fil de terre ZT et des fils CA, CB, CD, etc., qui peuvent se remplacer par un seul de même longueur, mais d'une section égale à la somme des sec-

tions de tous ces fils. Dans le cas actuel la résistance des quatre fils réunis est le quart de la résistance de chacun pris séparément.

Quand la pile et le fil de terre ZT ont une faible résistance par rapport à celle des lignes, on peut ne pas en tenir compte, et l'intensité totale du courant est sensiblement égale à quatre fois celle qu'il aurait s'il était envoyé dans une seule direction. Sur chacune des lignes, l'intensité est le quart de cette intensité totale [1].

L'intensité du courant suivant un quelconque des fils est donc la même, soit qu'on envoie le courant seulement sur ce fil, soit qu'on l'envoie simultanément sur plusieurs.

Cette loi est également vraie si les lignes n'ont pas la même longueur, pourvu que la résistance de la pile soit nulle ou extrêmement faible par rapport à celle des lignes.

La résistance des piles ne peut pas être négligée; elle varie de 10 à 30 kilomètres, de sorte que l'intensité du courant ne reste pas constante; néanmoins, comme la résistance d'une ligne comprend non-seulement le conducteur extérieur, mais encore le fil de l'électro-aimant de l'appareil qui est d'environ 200 kilomètres, la variation du courant n'est pas assez grande pour empêcher la transmission.

Cette variation de l'intensité du courant est d'autant plus faible que les lignes sont plus longues.

79. — Quant aux appareils destinés à ne marcher qu'au moyen d'une pile locale, par l'intermédiaire d'un relais, la résistance du circuit extérieur à la pile se compose uniquement de celle du fil qui entoure l'électro-aimant, et nous avons vu qu'elle doit être très-faible. Si la même pile servait pour plusieurs récepteurs, le courant changerait notablement d'intensité, selon qu'il passerait dans un seul des récepteurs ou qu'il en traverserait plusieurs; une pile spéciale pour chaque appareil est donc indispensable.

80. — Une autre conséquence du même principe est qu'on peut

1. La dépense de la pile, qui est proportionnelle à l'intensité totale du courant qui la traverse, est quatre fois plus considérable, dans ce cas, que lorsque le courant passe dans une seule direction.

envoyer en même temps et par le même manipulateur, le courant sur plusieurs lignes différentes, et ainsi obtenir une communication simultanée dans différentes directions.

La grande résistance des fils des électro-aimants permet même d'envoyer sur une même ligne une communication à plusieurs postes situés à différentes distances. Soit, par exemple (*fig.* 60),

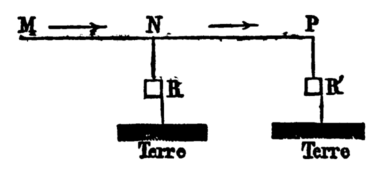


Fig. 60.

une ligne MNP, et en deux points N et P une communication avec deux appareils. Le courant envoyé du point M se divise en N en deux parties dont l'une suit NR et l'autre NPR'. Les intensités sont inversement proportionnelles aux résistances de NR et du fil qui entoure l'électro-aimant de l'appareil R, d'une part, et de l'autre, de NP, de PR' et du fil qui entoure l'électro-aimant de l'appareil récepteur R'.

Si la résistance des fils des électro-aimants est égale et très-grande par rapport à celle du conducteur NP, l'intensité sera sensiblement la même suivant les deux directions.

On pourrait rendre l'égalité parfaite en plaçant sur le parcours du fil NR une résistance égale à celle du conducteur NP au moyen d'un rhéostat [1].

1. *Voir* la note 12 à la fin de l'ouvrage.

CHAPITRE III.

Instruments divers employés dans les bureaux télégraphiques.

Avant de donner la description détaillée des principaux appareils qui servent pour la transmission des dépêches, nous indiquerons les divers instruments dont on fait usage dans les bureaux télégraphiques et qui sont indépendants de la forme des récepteurs.

PILES.

81. **Pile Daniell.** — La pile Daniell est celle qu'on emploie le plus généralement en France. Nous avons déjà donné sa théorie au n° 60.

Chaque élément comprend : un vase en verre de 12 centimètres de hauteur qu'on remplit à moitié d'eau pure ; un vase poreux, verni à la partie supérieure, dans lequel on verse une dissolution de sulfate de cuivre jusqu'aux deux tiers de la hauteur ; enfin un cylindre de zinc terminé par une queue en cuivre qu'on plonge dans le vase poreux de l'élément suivant.

La figure 61 montre une pile composée de neuf éléments. La queue du premier zinc A, qu'on met en communication avec le sol, forme le pôle négatif ; dans le vase poreux du dernier élément on place une lame de cuivre qui constitue le pôle positif de la pile. Cette lame est reliée par un fil conducteur au manipulateur.

Lorsqu'on veut avoir un nombre d'éléments moindre que celui

dont la pile entière est composée, on fait plonger la lame dans un vase poreux plus rapproché du pôle zinc. Si cette lame est placée dans le vase poreux de l'élément D, le fil qui lui est attaché, P_1 P, représentera une pile de quatre éléments.

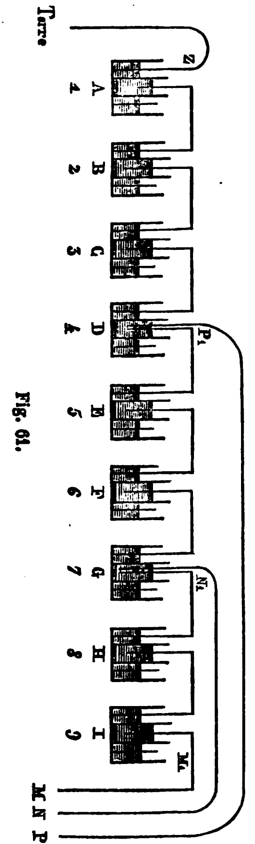


Fig. 61.

Pour éviter de toucher à la pile chaque fois qu'on veut augmenter la force du courant, on fait arriver près du manipulateur plusieurs fils, MM_1, NN_1, PP_1, qui correspondent à des nombres différents d'éléments, et l'on peut sans se déranger faire communiquer le manipulateur avec l'un quelconque de ces fils.

Si le sens du courant doit changer pendant la transmission, on ne fait pas communiquer le pôle négatif à la terre, mais bien au manipulateur.

La pile ne donne lieu à un courant que lorsque le sulfate de cuivre est dissous, ce qui demande plusieurs heures, quand on n'a pas préparé d'avance la dissolution. On peut hâter le moment où elle entre en action en se servant d'eau chaude pour dissoudre le sulfate de cuivre, ou en déposant du sel marin dans les vases poreux.

La dissolution de sulfate de cuivre doit toujours être saturée ; il est donc nécessaire qu'il reste toujours quelques cristaux dans le vase poreux. Ces cristaux sont quelquefois déposés dans une petite capsule en cuivre percée de trous et soudée au sommet de la lame de cuivre. A mesure que les couches liquides se saturent, elles augmentent de densité et, en descendant, font place à d'autres qui se saturent à leur tour.

Les résidus de la pile Daniell sont du cuivre pur et du sulfate de zinc. Le cuivre se dépose contre les parois des vases poreux, et quelquefois sur les queues en cuivre des zincs dont il augmente singulièrement le volume.

Le sulfate de zinc s'étend sur les vases poreux et les vases en verre. Il faut l'enlever avec soin pour éviter toute communication entre les éléments différents et entre les deux liquides d'un même élément.

La pile a besoin d'un entretien journalier qui consiste à visiter tous les éléments successivement, à ajouter, suivant les besoins, du sulfate et de l'eau pure, à enlever la dissolution en excès, de façon que la hauteur des liquides soit constante, enfin à faire disparaître les cristallisations de sulfate de zinc.

Une pile ainsi surveillée peut durer plusieurs mois. Au bout de ce temps, il est utile de la refaire entièrement. On nettoie les zincs en les frottant avec une brosse assez dure. Les zincs et les vases poreux peuvent être utilisés plusieurs fois.

La pile doit être établie dans un endroit sec sur une planche à claire-voie, et les éléments doivent être séparés les uns des autres d'un ou deux centimètres.

Toute communication entre les fils qui aboutissent à la pile la neutraliserait en partie. Si, par exemple, les deux fils PP_1 et NN_1 (*fig.* 61) avaient une communication métallique, il se formerait un circuit comprenant les éléments E, F et G ; le résultat serait exactement le même que si l'on supprimait ces trois éléments. Il en serait encore ainsi dans le cas où l'un des fils de la pile communiquerait avec le fil de terre.

Les éléments compris dans le circuit secondaire s'épuisent rapidement ; le sulfate de cuivre disparaît en peu de temps.

Les queues en cuivre des cylindres de zinc doivent plonger assez profondément dans les vases poreux pour que les contacts soient bien établis. La pile ne donnerait évidemment aucun courant s'il y avait une solution de continuité. Souvent ces lames se rompent au niveau du liquide.

Quand les liquides prennent promptement le même niveau dans les vases en verre et dans les vases poreux, on en conclut

que ces derniers pèchent par un excès de porosité et doivent être changés. Ils ont quelquefois le défaut contraire, et la pile alors ne donne qu'un faible courant.

Une pile Daniell peut servir à envoyer le courant dans quatre ou cinq directions différentes, lorsque les lignes ont une certaine étendue et que le nombre des éléments est assez considérable.

On peut admettre qu'avec les appareils employés généralement en France et par un temps assez sec, une pile bien entretenue de 30 éléments suffit pour communiquer à une distance de 100 kilomètres ;

Une pile de 50, à une distance de 200 kilomètres;

Une pile de 70, à une distance de 400 kilomètres.

82. —Les piles locales, dont le courant ne traverse qu'un court circuit, doivent avoir de grandes dimensions. On emploie des piles Daniell dont les vases en verre ont $0^{m}25$ de hauteur.

On ne fait pas communiquer à la terre le zinc du premier élément, le circuit se formant dans l'intérieur du poste.

On peut remplacer les grands éléments par plusieurs piles for-

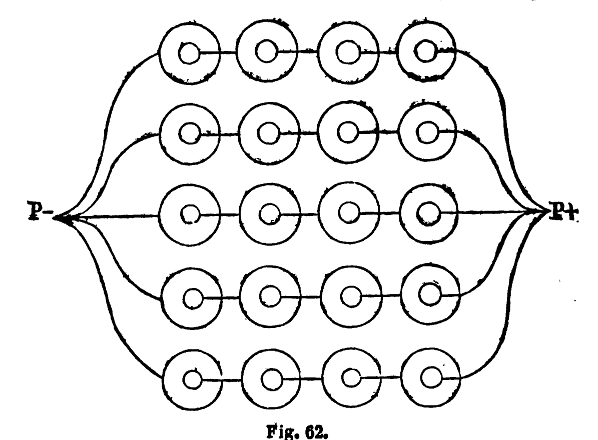


Fig. 62.

mées d'un même nombre de petits éléments en réunissant les pôles du même nom, ce qui donne la disposition de la figure 62,

au lieu de celle de la figure 63 adoptée pour les piles ordinaires.

Le circuit de chacune des piles secondaires (*fig.* 62) est fermé

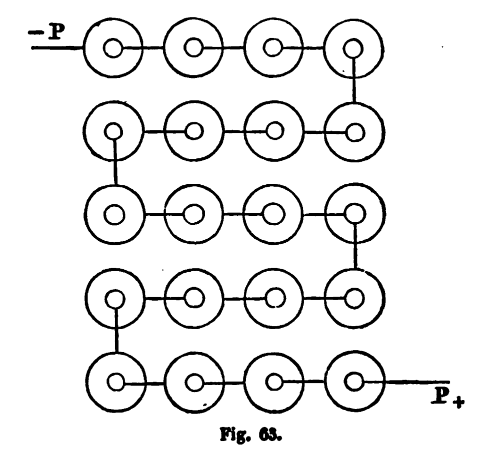


Fig. 63.

par l'intermédiaire des autres, mais il n'y a aucun courant produit et par suite aucune dépense de sulfate de cuivre, quand les pôles P+ et P— sont isolés, si le nombre des éléments de ces différentes piles est le même.

On voit, en effet, que chaque série d'éléments est traversée par deux courants, l'un provenant de ses éléments eux-mêmes, l'autre provenant des autres piles; ces deux courants vont en sens contraire; ils sont égaux et se détruisent si toutes les séries ont le même nombre d'éléments.

En Suisse, les piles qui servent pour envoyer le courant sur les lignes, sont formées d'éléments Daniell de très-petite dimension. Le vase en verre a seulement $0^{m}05$ de hauteur.

La dépense occasionnée pour l'entretien des piles n'est pas assez considérable pour qu'il soit nécessaire de chercher l'économie dans cette partie du service, c'est pourquoi ces petites piles, qui sont d'un entretien assez difficile, ne sont pas adoptées généralement.

Pour les appareils mobiles, destinés à être placés sur les con-

vois de chemin de fer, on fait encore usage de la pile Daniell, mais on a soin de fermer les vases en verre et les vases poreux au moyen de bouchons de liége que traversent les tiges des zincs ou de remplacer les deux liquides par du sable imprégné d'eau pure et de sulfate de cuivre en dissolution.

83. **Pile Bunsen.** — On a renoncé depuis plusieurs années à faire usage de ces piles en France à cause des manipulations difficiles auxquelles donne lieu leur entretien et du dégagement des vapeurs acides qu'elles occasionnent.

Dans le vase en verre (*voir* n° 62) on verse de l'acide nitrique du commerce, mélangé de la moitié de son poids d'eau, et dans le vase poreux de l'acide sulfurique étendu d'environ vingt à vingt-cinq fois son volume d'eau. Les zincs doivent être amalgamés au moins tous les quinze jours. On les plonge à cet effet dans de l'acide sulfurique étendu pour les décaper et on les dépose dans un bain de mercure; après les avoir laissé reposer dans ce bain une demi-heure environ, on les frotte avec une brosse très-dure.

On ne doit pas rejeter les résidus de ces piles qui contiennent toujours une assez grande quantité de mercure.

84. **Piles de sable.** — Nous citerons encore les piles de sable qu'on emploie en Angleterre. Elles sont formées de plaques de cuivre et zinc séparées par des augets remplis de sable imprégné de chlorhydrate d'ammoniaque. Leur énergie est extrêmement faible, mais elles sont d'un entretien peu dispendieux.

BOUSSOLES ET GALVANOMÈTRES.

85. — Les galvanomètres sont les instruments les plus commodes pour reconnaître le passage du courant et en mesurer l'intensité. Tous les bureaux télégraphiques doivent en être pourvus.

Nous ne reviendrons pas sur leur description que nous avons faite au premier chapitre.

Quand les galvanomètres sont destinés seulement à reconnaître

le passage du courant, le cadre doit porter un assez grand nombre de tours de fil recouvert, environ 20 ou 30.

Pour déterminer l'intensité, en cas de dérangement et pour les expériences ordinaires sur l'état des lignes, on emploie des boussoles de sinus ayant seulement douze tours de fil.

Enfin il est quelquefois utile de faire des observations délicates pour lesquelles on se sert de galvanomètres ayant 150 à 200 tours de fil.

L'aiguille est suspendue à un fil de cocon pour les deux derniers genres de boussoles.

Il est indispensable que les instruments qu'on emploie dans une même administration soient construits exactement de la même manière, afin que les résultats puissent être comparables.

Souvent les galvanomètres sont encastrés dans les tables de manipulation. Les fils dans lesquels on veut reconnaître le passage du courant aboutissent à des ressorts qui pressent sur la boussole au moyen de deux cercles de cuivre concentriques fixés aux deux extrémités du fil qui entoure l'aiguille ; d'autres fois, l'aiguille est lestée et le galvanomètre, posé verticalement au-dessus de l'appareil récepteur, se trouve directement sous les yeux de l'employé.

Pour orienter une boussole, quand elle est horizontale, on laisse, avant de fixer les fils conducteurs aux deux bornes extérieures, l'aiguille aimantée prendre sa position normale (du nord au sud) ; on tourne alors l'instrument jusqu'à ce que l'aiguille soit cachée par le cadre et corresponde exactement au zéro de l'axe gradué.

Quand les galvanomètres sont seulement destinés à reconnaître le passage du courant et ne doivent pas servir pour faire des expériences exactes, on place ordinairement au-dessous du cadre un petit aimant. Il n'est pas, dans ce cas, nécessaire de les orienter ; l'aiguille se place toujours d'elle-même, suivant la direction du cadre ; elle dévie quand le fil qui l'entoure est traversé par le courant, et revient à sa position dès que le courant cesse de circuler.

Les aiguilles des boussoles se désaimantent quelquefois sous l'action des décharges atmosphériques. Pour les aimanter, il suffit de les frotter régulièrement sur un aimant ou sur un électro-aimant autour duquel on fait passer un courant.

Les galvanomètres placés près des récepteurs sont influencés par l'aimantation des électro-aimants. On doit toujours tenir compte de cette influence qui fait souvent dévier l'aiguille de plusieurs degrés.

COMMUTATEURS.

86. — Les commutateurs sont destinés à faire communiquer un fil alternativement et à volonté avec plusieurs autres.

Le plus simple est formé d'un disque en bois (*fig.* 64) dans lequel sont encastrées des pièces métalliques A, B, C, D et M.

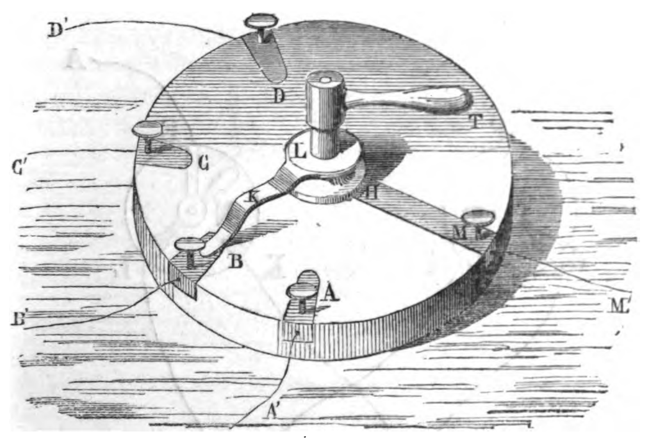


Fig. 64.

L'une d'elles, M, communique au centre par une lame en cuivre MH. Un ressort en cuivre ou en acier KL qu'on fait tourner au moyen de la tige T, établit la communication entre la lame HM et l'une quelconque des parties A, B, C ou D. Les fils dénudés à l'extrémité sont arrêtés au moyen de vis dans des trous percés sur les bords des pièces métalliques.

Si des fils A', B', C', D' et M' sont placés dans les trous du commutateur, il suffira de faire appuyer le ressort sur la partie

métallique correspondante à l'un d'eux pour le faire communiquer avec M'.

Lorsque le commutateur ne porte que deux pièces métalliques M et C, il ne peut servir qu'à établir et interrompre la communication entre les fils M' et C'. On le nomme alors *interrupteur*.

87. **Commutateurs inverseurs.** — On a souvent besoin de changer simultanément les communications de quatre fils de façon à opérer un croisement. Soient A, B, C et D ces quatre fils, il peut être nécessaire de faire comnmuiquer à volonté et en même temps A et C, B et D, ou A et D, B et C.

On peut y arriver au moyen de deux commutateurs ordinaires M et N (*fig.* 65).

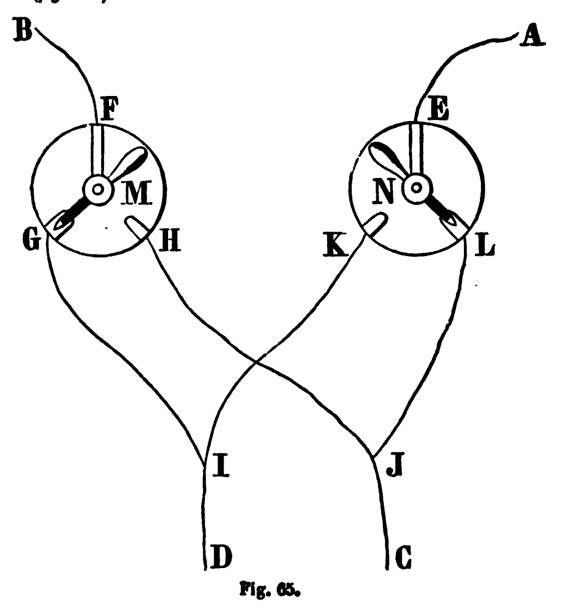


Fig. 65.

Aux boutons F et E sont fixés les fils B et A. Les fils D et C se bifurquent en I et J et sont arrêtés, comme l'indique la figure, aux boutons G, H, K et L.

En plaçant le ressort de M sur G, et celui de N sur L, on fait communiquer A et C, B et D. En changeant les deux ressorts et en les plaçant sur K et H, on obtient les communications entre A et D, B et C.

Un seul commutateur nommé inverseur suffit pour opérer ce croisement.

Il se compose encore (*fig.* 66) d'un disque en bois sur lequel sont encastrées cinq pièces métalliques E, F, G, H et K.

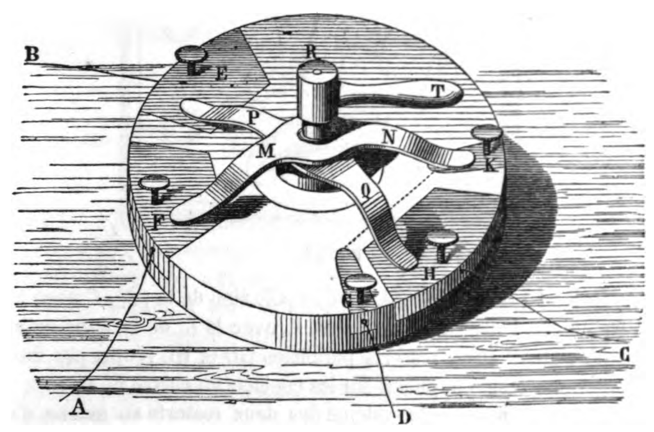


Fig. 66.

Les trois lames E, F, et H sont assez larges, les deux autres G et K sont étroites et communiquent par un fil recouvert placé au-dessous du disque. Deux doubles ressorts MN et PQ tiennent par leur centre à un axe vertical qu'on met en mouvement au moyen de la tige RT. Les deux systèmes de ressorts sont séparés par une rondelle en cuir et n'ont aucune communication. Les fils A et B se fixent en E et F et les fils D et C en G et H.

Dans la position de la figure, B communique avec C et A avec D. Si l'on tourne la tige RT, il arrive un moment où le ressort PQ s'appuie sur la lame G sans cesser de toucher de l'autre côté la lame E. Le ressort MN repose alors sur les pièces F et H, et

dans cette position on obtient les communications B et D, A et C.

Dans les postes de chemin de fer, l'inverseur destiné à changer le sens du courant qu'on envoie sur la ligne, a une forme un peu différente.

Sur la planche XY (*fig.* 67) sont quatre petites bornes en cuivre

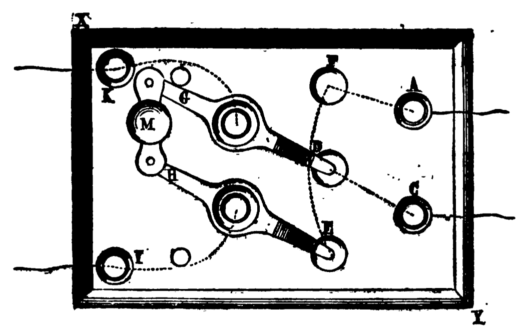


Fig. 67.

A, C, K et I qu'on relie, A avec le pôle zinc de la pile, C avec le pôle cuivre, I avec le fil de terre, K avec le fil de la ligne ou le manipulateur. Deux ressorts parallèles GD et HE réunis par une lame transversale appuient sur les contacts en cuivre E, D, F.

En faisant mouvoir le système des deux ressorts au moyen du bouton M, on les fait appuyer en même temps sur E et D ou sur D et F.

Dans la première position, le pôle zinc communique avec la terre et le pôle cuivre avec la ligne, dans la seconde, le pôle cuivre communique avec la terre et le pôle zinc avec la ligne.

88. **Commutateur suisse ou permutateur.** — On emploie en Suisse un genre de commutateur remarquable par le grand nombre de combinaisons qu'il peut donner. Il se compose d'une pièce rectangulaire assez épaisse en bois qu'on fixe par deux ou quatre vis sur la table de manipulation (*fig.* 68). Deux systèmes de lames en cuivre, A, B, C et A′, B′, C′ sont disposés à angles droits, l'un à la partie supérieure, l'autre à la partie inférieure. Les fils s'arrêtent aux extrémités de ces lames au moyen de vis de

pression. Aux points qui correspondent au croisement des lames se trouvent des trous dans lesquels on peut enfoncer une vis MN

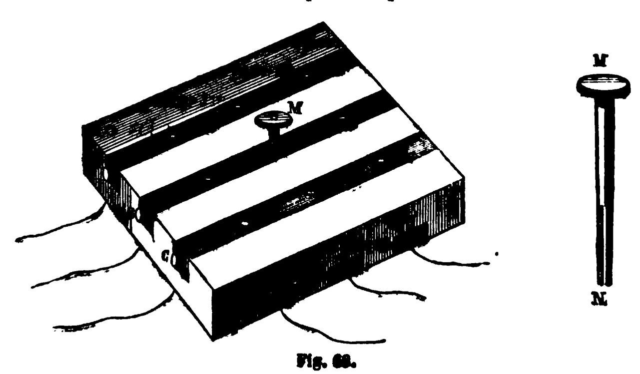


Fig. 68.

fendue à la partie inférieure de façon à former ressort. Cette vis presse assez fortement les deux lames et fait communiquer les deux fils qui leur sont attachés.

Avec plusieurs vis on peut établir simultanément plusieurs systèmes de communication.

Prenons, par exemple, un permutateur à huit lames (*fig.* 69). Pour la position du n° 1 on a en même temps les communications suivantes :

d — a'
b — b'
c — d'

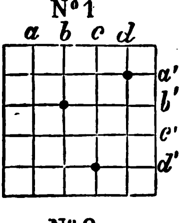
Dans celle du n° 2 :

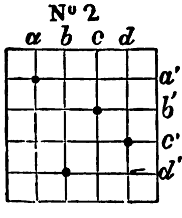
a — a'
c — b'
d — c'
b — d'

Enfin au n° 3 :

b — a'
c — b'
a — c'
d — d'

On a construit en Prusse des permutateurs d'un autre modèle, mais dont le principe est exactement le même et qu'il est inutile de décrire.





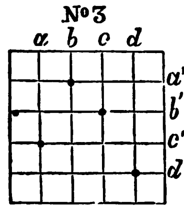


Fig. 69.

89. **Planchettes de manipulation.** — Afin d'éviter la confusion des fils sur les tables de manipulation, on se sert quelquefois de planchettes sur lesquelles toutes les communications métalliques sont établies au moyen de lames de cuivre.

La forme de ces planchettes dépend naturellement des appareils auxquels elles sont destinées. Elles portent d'ailleurs des commutateurs pour les différentes opérations qu'on peut être appelé à faire, telles que le changement de fils de pile, etc.

Les communications métalliques sont tantôt en dessus, tantôt en dessous. Les deux systèmes présentent des avantages et des inconvénients.

Nous pensons qu'il est préférable de ne pas se servir de ces planchettes qui donnent assez fréquemment lieu à des dérangements et exigent, dans la construction des appareils, une identité parfaite, contraire aux améliorations et difficile à obtenir surtout de constructeurs différents.

PARATONNERRES.

90. — Les orages produisent sur les fils des lignes une accumulation de fluide électrique dont la décharge dans les bureaux télégraphiques donne lieu à des étincelles, fond les fils des électro-aimants et peut occasionner des accidents plus graves [1]. Pour mettre les appareils à l'abri, on place dans les postes des para-

1. *Voir* le chapitre 5.

tonnerres fondés sur la propriété que possède l'électricité statique de passer entre des pointes rapprochées et de fondre les fils fins qu'elle traverse, tandis que l'électricité produite par les piles ne peut franchir la distance qui sépare deux pointes quelque faible qu'elle soit.

Voici la description de quelques-uns des paratonnerres employés en France.

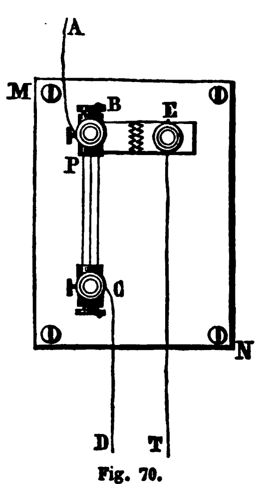


Fig. 70.

Le premier (*fig.* 70), dont on fait usage dans les postes de chemin de fer, comprend une petite planchette en bois MN sur laquelle sont placées deux viroles B et C à 6 ou 7 centimètres de distance. Un fil de fer ou de platine extrêmement fin, fixé à ses deux extrémités dans deux montures en cuivre et placé dans un tube de verre relie ces deux viroles.

La partie supérieure B communique avec la ligne A, la partie inférieure C avec le fil du poste D. Le courant qui vient de la ligne doit traverser le fil fin BC, de sorte que si la décharge électrique est assez forte, ce fil se fond et interrompt la communication entre la ligne et l'appareil.

En face de la virole supérieure B est une pièce métallique E qui communique avec la terre. Des pointes de cuivre placées en regard permettent à l'électricité accumulée sur le fil de la ligne de passer dans le réservoir commun lorsque le fil de platine a été fondu.

Il arrive quelquefois que le fil contenu dans le tube de verre, volatilisé par l'effet de la décharge, se précipite contre les parois du tube et forme une sorte de gaîne conductrice. L'on supprime souvent ce tube destiné seulement à protéger le fil qu'il contient.

Lorsqu'une décharge électrique a fondu le fil, on doit le remplacer pour rétablir la communication.

Ces paratonnerres doivent être autant que possible placés en dehors des bureaux pour que la ligne soit complétement séparée de l'intérieur du poste après la fusion du fil de platine.

94. — La disposition suivante offre l'avantage de faire communiquer à la terre le fil de la ligne lorsque le fil fin a été fondu.

Ce paratonnerre consiste en une tige MN (fig. 71) formée de

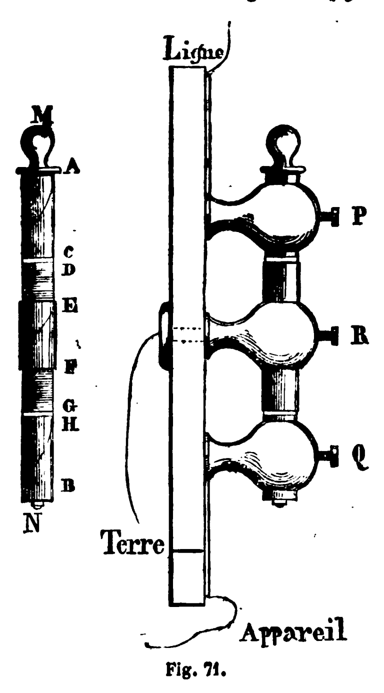


Fig. 71.

trois parties en cuivre, AC, DG et HB. Les portions extrêmes AC et HB sont séparées par des disques en ivoire GH et CD, de celle du milieu qui porte un renflement EF. Un fil très-fin recouvert de soie est fixé, d'une part, à la partie supérieure M qui se dévisse, et de l'autre par une petite vis à l'extrémité inférieure N; il est enroulé sur la tige. Les portions extrêmes BH et AC ne sont

donc en communication que par l'intermédiaire de ce fil recouvert, celle du milieu ne communique avec les deux autres que lorsque la soie qui recouvre le fil est enlevée. La tige traverse trois viroles en cuivre P, R et Q. Des vis assurent le contact de ces viroles avec les trois portions AC, EF et HB. La première P communique avec le fil de la ligne, la seconde R avec la terre, et la troisième avec le fil de l'appareil.

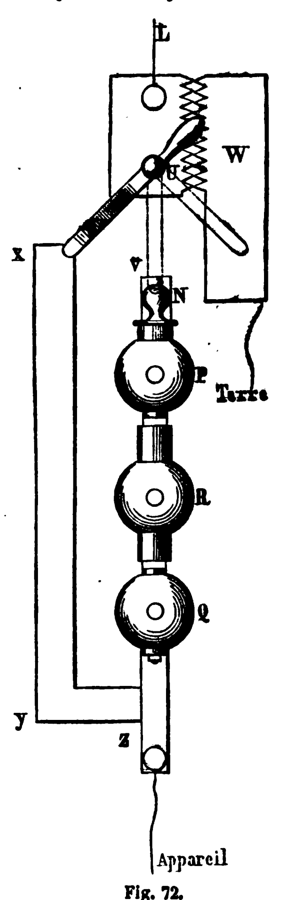


Fig. 72.

Lorsqu'une décharge atmosphérique fond le fil fin, ou brûle seulement la soie qui l'entoure, la ligne se trouve en communication avec la terre. Quand cette fusion a eu lieu, on change la tige ou l'on enroule d'autre fil recouvert de soie.

On reconnaît que les tiges ainsi montées sont en bon état en s'assurant que le courant passe entre les parties extrêmes et ne passe pas de l'une d'elles à celle du milieu.

Le paratonnerre vu de face est représenté dans la figure 72. Le fil de la ligne s'attache au bouton L. En U est un commutateur qui permet de faire communiquer ce fil, soit avec la lame N, soit avec la lame XYZ, soit enfin avec la plaque de cuivre W qui est reliée au fil de terre.

Dans le premier cas, le courant de la ligne doit traverser le fil du paratonnerre ; dans le second, il va directement à l'appareil, et dans le troisième il se rend à la terre.

On doit, toutes les fois qu'un orage est un peu violent, établir

cette dernière communication. Les plaques W et L sont munies de pointes dont le but est le même que celles du paratonnerre décrit précédemment.

Quand il n'y a aucune chance d'orage, on place le ressort du commutateur U sur la lame XY ; mais si le fil recouvert de soie qui entoure la tige MN est dénudé en certains points, le courant, au lieu de traverser le fil de l'appareil qui offre une grande résistance, se rend directement dans le sol par l'intermédiaire de la virole R. Il faut enlever la tige pour empêcher toute communication de la lame XYZ avec la terre.

On a cherché à éviter cet inconvénient en donnant au paratonnerre la forme suivante qui a été récemment adoptée.

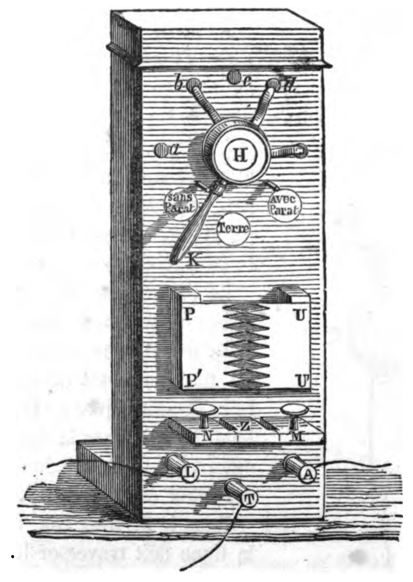


Fig. 73.

92. — Il est formé d'une petite colonne verticale (*fig.* 73) au bas de laquelle s'attachent à trois petites bornes en cuivre, en T

le fil de terre, en L le fil de la ligne et en A le fil de l'appareil

La borne L communique avec l'axe H d'un commutateur à trois branches qu'on fait mouvoir au moyen de la tige K. En plaçant cette tige au-dessus de l'une des trois plaques qui portent les indications *avec paratonnerre, terre, sans paratonnerre*, les branches du commutateur appuient sur de petites plaques métalliques *a*, b, c et d. L'axe du commutateur communique seulement avec la branche du milieu; les deux autres, formées d'une seule pièce, étant isolées par un disque d'ivoire. Le fil fin recouvert de soie est placé dans l'intérieur de la petite métallique Z; ses extrémités dénudées sont arrêtées par des vis dans les deux autres petites pièces M et N.

Les communications suivantes sont établies au moyen de fils ou de lames fixées derrière la planchette,

L avec PP′ et H
a avec N
b avec M
d avec A
c avec UU′, Z et T.

1° Quand la tige K du paratonnerre est au-dessus de l'inscription *sans paratonnerre*, la branche médiane du commutateur appuie sur la plaque *d*. Le courant arrivant de la ligne au bouton L, traverse la plaque de cuivre garnie de pointes PP, et passe du centre H du commutateur au bouton *d* d'où il se rend à la borne A et à l'appareil. 2° Si la tige K est placée au-dessus de l'inscription *avec paratonnerre*, les trois branches du commutateur se trouvent sur les trois plaques *a*, *b* et *d*. Le courant après avoir traversé la plaque PP′, arrive, par l'intermédiaire de la branche du milieu, au point *b* et à la pièce de cuivre M; il traverse le fil du paratonnerre en Z, se rend de N au bouton *a*, suit les deux branches extrêmes du commutateur et passe de *d* à la borne A.

Si une décharge électrique fond le petit fil, la ligne se trouve en communication avec la terre par l'intermédiaire de la pièce en cuivre Z dans laquelle il est placé.

3° Dans la troisième position de la tige K, la branche du milieu

appuie sur la plaque *o* qui communique avec la terre par l'intermédiaire de la tige UU' de la plaque Z et de la borne T.

INSTALLATION DES POSTES.

93. Fils de terre. — Les piles, les récepteurs et les paratonnerres doivent être, comme nous l'avons vu, en communication avec le réservoir commun.

L'on ne peut apporter trop d'attention à cette partie de l'installation d'un bureau télégraphique, car du bon établissement de cette communication dépend la sûreté des transmissions, surtout pour les postes auxquels plusieurs lignes viennent aboutir. On ne pourrait pas, par exemple, se contenter d'un simple fil de fer plongé dans une citerne maçonnée.

Le fil de terre doit être terminé par une assez grosse masse métallique placée au fond d'un puits ou dans un courant d'eau.

Lorsque cette condition ne peut être remplie, on creuse un trou assez profond dans un terrain humide, et on y dépose la masse de fer qu'on entoure de braise de boulanger.

Les tuyaux en fonte, tels que ceux qui servent pour le gaz et les rails de chemin de fer, qui communiquent sur une grande étendue avec le sol, peuvent être d'un précieux secours; on doit les utiliser chaque fois qu'il est possible de le faire.

Dans quelques cas on est obligé d'établir cette communication à une assez grande distance de la station, on ne doit jamais reculer devant cet obstacle pour s'assurer d'une bonne communication.

On pose, en général, par mesure de précaution, deux fils de terre complétement indépendants qu'on réunit à l'entrée du poste.

Le fil de terre reçoit les décharges électriques causées par les orages; il est convenable d'employer du fil de fer d'un diamètre assez gros, pour éviter toute chance de rupture ou de fusion.

On forme souvent un faisceau de plusieurs fils de fer de trois ou quatre millimètres de diamètre qui vient aboutir à une plaque

de cuivre ou de zinc derrière les paratonnerres d'où partent les bifurcations pour les piles et les appareils.

94. **Positions relatives des stations.** — Un poste situé à l'extrémité d'une ligne ne peut présenter aucune difficulté d'installation. Le fil de la ligne est invariablement relié au paratonnerre d'où le courant se rend au manipulateur, au récepteur et à la terre. Les fils de pile, au nombre de trois ou quatre, aboutissent à un commutateur au moyen duquel on peut prendre, suivant les besoins, des nombres différents d'éléments.

Dans les postes intermédiaires, on affecte ordinairement un appareil spécial pour chaque direction. Quand les deux postes voisins doivent communiquer entre eux, au lieu de recevoir la dépêche de l'un des côtés pour la transmettre à l'autre, on les fait correspondre directement, ce qui peut s'effectuer de diverses manières.

95. **Communication directe.** — Si la distance des deux postes correspondants n'est pas trop considérable, on les établit, sur la

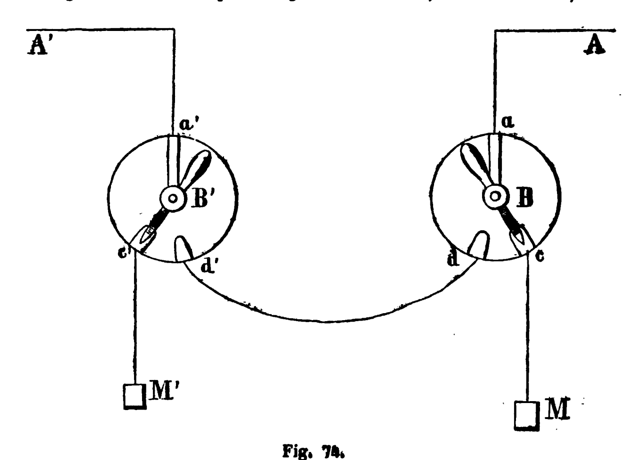


Fig. 74.

demande de l'un d'eux, en communication directe au moyen de deux commutateurs B et B' (*fig.* 74).

Le fil conducteur de la ligne A est attaché au bouton *a* du commutateur B, et celui de la ligne A′ au bouton *a′* du commutateur B′. Les boutons *c* et *c′* communiquent aux manipulateurs du poste, et les boutons *d* et *d′* sont reliés directement.

Lorsque les ressorts des commutateurs appuient sur les lames *c* et *c′*, le poste intermédiaire reçoit dans ses deux appareils les transmissions de A et de A′ ; quand au contraire les ressorts sont sur *d* et *d′*, le courant venant de A passe par *a*, *d*, *d′* *a′*, et se rend en A′ sans traverser les appareils.

Le poste intermédiaire étant hors du circuit, les deux correspondants ne peuvent l'avertir lorsque leur transmission est achevée ; ils doivent, en demandant la communication directe, indiquer le temps présumé qui leur est nécessaire.

On peut donner aux postes extrêmes la faculté d'appeler, à un instant quelconque, l'attention du poste intermédiaire en plaçant dans le circuit un appareil qui ne puisse marcher que si le courant passe dans un sens déterminé (nº 70). Tant que les deux postes sont occupés, cet appareil reste immobile ; à la fin du travail, l'un d'eux change le sens du courant, et le poste intermédiaire averti reprend la position normale.

Les deux postes extrêmes doivent, pendant qu'ils sont ainsi en communication, disposer leurs piles de telle sorte que le courant qu'ils envoient sur la ligne ait le même sens et ne puisse faire marcher l'appareil du poste intermédiaire.

96. **Communication par translation.** — Nous avons vu (nºˢ 73 et 74) comment elle peut s'établir, soit avec un relais spécial, soit avec deux appareils ordinaires disposés à cet effet.

Deux commutateurs semblables à ceux de la figure 74 servent à établir cette communication. Au poste intermédiaire on peut suivre les transmissions qui ont lieu entre les deux postes correspondants et répondre quand on s'entend appeler, en convenant d'un signe à l'avance.

97. **Communication simultanée.** — Lorsqu'un poste veut transmettre en même temps à plusieurs stations de la même ligne, chacune de ces stations forme une dérivation de la ligne principale (nº 86) au moyen de deux commutateurs B et B′ (*fig.* 75).

Les boutons *d'* et *c* sont réunis, ainsi que les boutons *c'* et *d*. Lorsque les deux ressorts sont sur *c* et *c'*, le poste est à l'état nor-

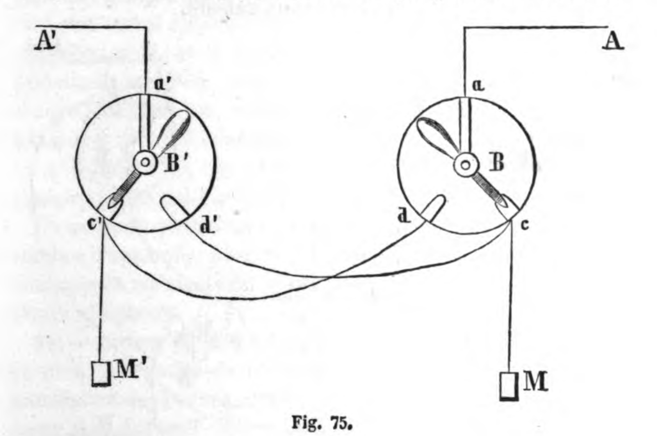


Fig. 75.

mal, quand le ressort de B appuie sur *c* et celui de B' sur *d'*, le courant venant de A se divise en *c* en deux parties dont l'une traverse l'appareil M, et l'autre se rend en A' par *cd'a'*.

Si, au poste intermédiaire, on envoie le courant à l'aide du manipulateur M, le courant se divise en *c* et suit les deux routes *ca*A et *cd'a'*A'.

Quand le ressort de B est sur *d* et le ressort de B' sur *c*, l'appareil M' sert au travail à la place de l'appareil M.

Ce mode de transmission ne peut s'effectuer que si le fil recouvert des bobines des appareils récepteurs présente une grande résistance.

98. — Dans certains cas, il est préférable de mettre complétement dans le circuit un des appareils de la station intermédiaire. Le courant, arrivant de l'un des postes correspondants, traverse le récepteur et se rend à l'autre poste au lieu d'aller à la terre.

Avec un seul appareil, le poste intermédiaire peut correspondre successivement des deux côtés. Parmi les dispositions qu'on peut adopter, la suivante (*fig.* 76) nous paraît la plus simple.

R est le récepteur,
M et M′ deux manipulateurs,
B et B′ deux commutateurs.

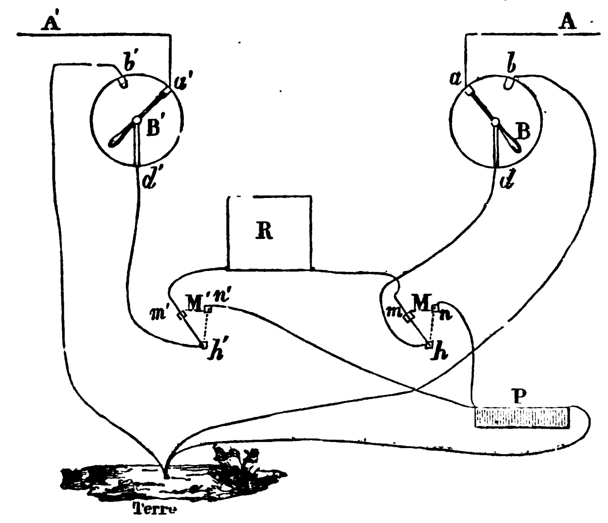


Fig. 76.

Le courant qui arrive de A′ suit le fil *d′h′*, la tige *h′m′* du manipulateur M′, traverse le récepteur R qu'il fait fonctionner, la tige *mh* du manipulateur M et passe sur le fil *a*A.

Au poste intermédiaire que nous considérons, on envoie le courant à la station A avec le manipulateur M, en mettant la tige de ce manipulateur suivant *hn*, et avec la station A′ avec le manipulateur M′.

Si le poste A veut transmettre une dépêche au poste intermédiaire, il est inutile que son courant aille à la station A′ ; on place dans ce cas le ressort du commutateur B′ sur le contact *b′* pour faire aller le courant à la terre après qu'il a traversé le récepteur R.

On peut, entre deux bureaux, placer ainsi plusieurs appareils

dans le circuit, mais il faut remarquer que le courant traversant plusieurs bobines qui offrent une grande résistance, son intensité est notablement diminuée. Si la longueur totale de la ligne est de 300 kilomètres, et si quatre appareils sont dans le circuit, en admettant que le fil qui entoure les électro-aimants, ait pour chaque récepteur une résistance de 200 kilomètres, la résistance totale sera de 1100 kilomètres. On voit que dans de telles conditions il faudra un très-grand nombre d'éléments de pile pour obtenir une intensité suffisante.

On ne peut, pour cette raison, placer dans le circuit un grand nombre d'appareils, bien qu'on puisse, jusqu'à un certain point, diminuer la résistance du fil qui entoure l'électro-aimant dans les divers récepteurs.

99. — Lorque plusieurs lignes aboutissent à un même bureau, on peut, à ce poste, établir chacun des correspondants en communication de diverses manières avec tous les autres. Il est toujours aisé d'obtenir toutes les combinaisons possibles avec un nombre suffisant de commutateurs. Toutefois, afin d'éviter les grandes complications dans l'installation, on ne doit disposer à titre définitif que les modes de communication qui servent le plus habituellement, sauf à se servir, dans les cas particuliers qui peuvent se présenter, de fils provisoires qu'on enlève dès qu'ils ont servi.

100. **Arrangement des fils dans les postes.** — Le nombre de fils que contient un poste est souvent très-considérable. Il en résulterait une confusion nuisible au service s'ils n'étaient disposés avec le plus grand ordre et séparés de façon à ne pouvoir se toucher, car tout contact entre eux peut donner lieu à un dérangement.

On se sert ordinairement de fils recouverts de gutta-percha qu'on place dans des rainures ou mieux encore qu'on fixe en les tendant contre des taquets en bois pour les écarter des murailles.

Au bout d'un certain temps, la gutta-percha s'écaille et il est prudent de changer les fils, principalement sur les tables de manipulation où il est impossible d'éviter les croisements.

Comme dans les recherches de dérangement, on a souvent

besoin d'isoler les lignes à l'entrée des postes, il est convenable d'arrêter tous les fils venant de l'extérieur au moyen de bornes en cuivre (*fig.* 77) fixées sur une planchette. On peut alors aisément exécuter toutes les opérations nécessaires pour ces expériences dont l'étude fera l'objet du sixième chapitre.

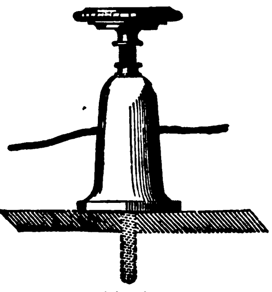


Fig. 77.

Il est impossible de donner une régle générale pour l'installation d'un poste ; on doit, dans chaque cas particulier, se laisser guider par la forme de la pièce destinée au bureau, par la nature des appareils employés, par le nombre de fils et les diverses fonctions qu'ils doivent remplir.

CHAPITRE IV.

Description des principaux appareils télégraphiques.

APPAREIL ANGLAIS A AIGUILLES.

101. Description. — Cet appareil, un des plus simples qu'on puisse imaginer, se compose d'un galvanomètre vertical dont l'aiguille aimantée peut se mouvoir dans les deux sens, suivant la direction du courant. Il fonctionne le plus souvent avec deux fils et comprend deux systèmes exactement semblables.

La figure 1 (planche 1) représente l'intérieur de l'appareil et la figure 2 l'extérieur, dans le cas d'une seule aiguille.

Il est ordinairement disposé de telle sorte que les signaux se reproduisent dans le poste qui transmet en même temps qu'à l'extrémité de la ligne.

AB est le galvanomètre vertical formé d'un cadre en bois autour duquel est enroulé le fil recouvert de soie; l'aiguille lestée à la partie inférieure, est fixée, au centre du cadre, au même axe que l'aiguille extérieure *ab* dont le mouvement est limité par les deux arrêts en ivoire *e* et *f*.

Le manipulateur se trouve dans la même boîte. Il est formé d'un cylindre COD terminé à l'extérieur par la poignée *mn* qui se meut à la main dans les deux sens. Ce cylindre est divisé en trois parties dont deux, C et D, sont en cuivre; la troisième, O, en ivoire, sépare les deux autres.

Deux pointes en cuivre M et N sont fixées sur les deux cylindres D et C, la première à la partie supérieure, l'autre à la partie inférieure. Ces pointes communiquent avec les deux pôles de la

pile par l'intermédiaire des ressorts Q' P et GZ, qui pressent l'un sur le cylindre lui-même l'autre sur le tourillon, et des deux lames métalliques Q' Q et GS.

Des deux côtés du cylindre se trouvent quatre ressorts réunis deux à deux par les lames KER et FJF'.

Deux de ces ressorts placés en regard de M appuient à l'état ordinaire sur les deux pointes métalliques x et y fixées à l'extrémité d'un petit cylindre horizontal en cuivre. Les deux autres ressorts, plus courts que les précédents, et dont un seul KL est visible dans la figure, sont en regard de N.

Le fil de terre s'attache en R et correspond aux deux ressorts KL et EI.

Le fil de la ligne attaché en T communique par l'intermédiaire du galvanomètre et de la lame F'JF, aux deux autres ressorts.

Dans la position de réception, la poignée extérieure *mn* est verticale ainsi que les deux pointes M et N qui ne touchent aucun des ressorts. Le courant venant de la ligne par T, après avoir traversé le galvanomètre, passe sur le ressort FH et arrive au fil de terre en R par les deux pointes x et y et le ressort EI.

L'aiguille *ab* dévie, et par le nombre et le sens de ses oscillations indique les signaux transmis par le correspondant.

Pour envoyer le courant par le pôle zinc de la pile on tourne la poignée *mn* en inclinant la partie supérieure à gauche. Alors la pointe M presse le ressort FH qu'elle écarte de x et la pointe N vient appuyer sur le ressort KL. Le pôle cuivre est ainsi en communication avec la terre par l'intermédiaire des ressorts KL et Q'P, de la partie métallique C, du cylindre et des lames RK et QQ'; le pôle zinc qui correspond à la pointe M communique à la ligne par le ressort HF, la lame FF'V, le fil du galvanomètre et la lame WT.

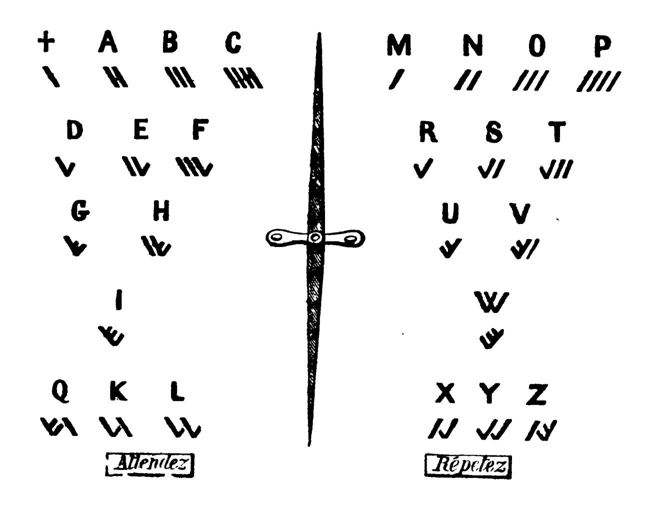
En tournant la poignée en sens contraire, la pointe M vient écarter le ressort EI de y et la pointe N presse le ressort dont le pied est en J; le pôle zinc est alors en communication avec la terre et le pôle cuivre avec la ligne, le courant traverse encore le galvanomètre. L'inclinaison de l'aiguille est toujours la même que celle de la manivelle.

On remplace souvent le galvanomètre par un électro-aimant qui fait dévier une aiguille placée à l'extérieur suivant le sens de l'aimantation que lui imprime le courant.

Cet appareil est extrêmement sensible. L'électricité atmosphérique suffit souvent pour faire dévier l'aiguille pendant un temps plus ou moins long et la lecture des signaux devient alors très-pénible. On remédie en partie à cet inconvénient en fixant les deux arrêts extérieurs *e* et *f* sur un disque mobile qu'on fait tourner de façon que l'aiguille soit constamment au milieu.

L'appareil à deux aiguilles (*fig.* 3) est formé de deux systèmes identiques et indépendants dont chacun correspond à un fil spécial. On fait mouvoir simultanément les deux manivelles en se servant des deux mains.

102. **Alphabet.** — Le tableau suivant montre l'alphabet adopté pour l'appareil à une seule aiguille :



Les lettres sont placées par ordre alphabétique de chaque côté de l'aiguille et le côté sur lequel elle se trouve indique le sens de la dernière oscillation.

Les mouvements à faire sont marqués par des diagonales et des demi-diagonales dont l'inclinaison représente celle de l'aiguille ou de la manivelle. On doit, pour l'ordre des oscillations, commencer par le côté qui avoisine l'aiguille dans le tableau.

Une, deux, trois et quatre oscillations à gauche représentent la croix qu'on donne à la fin des mots et les lettres A, B et C;

Une déviation à droite suivie d'une, de deux et de trois à gauche forment les lettres D, E et F;

Deux à droite suivies d'une et de deux à gauche représentent G et H;

Enfin trois à droite et une à gauche représentent la lettre I;

Q s'obtient par un coup à gauche, deux à droite et un à gauche;

K, un à gauche, un à droite et un à gauche;

L, un à droite, un à gauche, un à droite et un à gauche.

Pour les lettres placées à droite de l'aiguille, la marche est analogue :

M, N, O, P, un, deux, trois et quatre coups à droite;

R, S, T, un coup à gauche suivi de un, deux et trois à droite;

U, V, deux coups à gauche suivis de un ou deux à droite;

W, trois coups à gauche et un à droite;

X, un coup à droite, un à gauche et un à droite;

Y, un coup à gauche, un à droite, un à gauche et un à droite;

Z, un coup à droite, deux à gauche et un à droite;

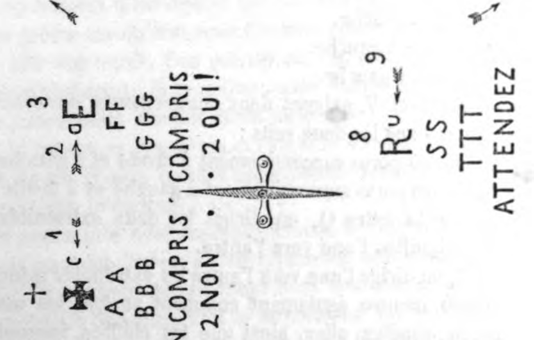
103. — L'alphabet pour l'appareil à double aiguille est formé par la combinaison des mouvements simultanés ou séparés des deux aiguilles. Dans l'alphabet précédent, certaines lettres exigent quatre mouvements successifs, dans le suivant (page 113), le plus grand nombre est de trois.

Les lettres placées à la partie supérieure se font au moyen de l'aiguille, au-dessus de laquelle elles se trouvent, qu'on porte du côté de la lettre autant de fois qu'elle est inscrite dans le tableau.

Ainsi l'aiguille gauche portée une fois à gauche indique la croix.

Deux fois à gauche, la lettre. . . . . A
Trois fois à gauche. . . . . B
Une fois à droite. . . . . E

Deux fois à droite. . . . . F
Trois foisà droite. . . . . G



L'aiguille droite portée

Une fois à gauche. . . . . H
Deux fois à gauche I
Trois fois à gauche. . . . . K

Une fois à droite . . . . N
Deux fois à droite. . . . . O
Trois fois à droite. . . . . P

Les lettres C, D, L et M se font par un double mouvement de l'aiguille au-dessus de laquelle elles sont placées.

C, un coup à droite et un à gauche de l'aiguille gauche;

D, un coup à gauche et un à droite de l'aiguille gauche;

L, un coup à gauche et un à droite de l'aiguille droite;

M, un coup à droite et un à gauche de l'aiguille droite.

Les lettres placées au-dessous des aiguilles s'obtiennent par des mouvements identiques et simultanés des deux aiguilles;

La position des lettres indique le côté sur lequel doit être dirigée l'extrémité inférieure:

R, un coup à droite;

S, deux coups à droite.

T, trois coups à droite.

W, un coup à gauche.

X, deux coups à gauche.

Y, trois coups à gauche.

Les lettres U et V exigent deux mouvements simultanés des deux aiguilles dans les deux sens :

Pour U, on les porte successivement à droite et à gauche;

Pour V, on les porte successivement à gauche et à droite.

Enfin, pour la lettre Q, on dirige les deux extrémités supérieures des aiguilles l'une vers l'autre.

Et pour Z, on dirige l'une vers l'autre les extrémités inférieures.

Le tableau montre également comment se font les mots oui, non, compris, répétez, allez, ainsi que les chiffres, lesquels sont figurés de la même manière que les lettres C, D, E, H, L, M, N, R, U et V. Un signal préliminaire indique que les signaux suivants représentent des chiffres.

Chaque série de chiffre, comme chaque mot, est suivie du signe qui représente *la croix*, auquel le correspondant répond par le signal *compris*, ou *non compris* s'il veut faire répéter.

Les appareils que nous venons de décrire exigent un courant

assez faible pour fonctionner, mais par suite ils sont assez sensibles aux actions étrangères; les décharges d'électricité atmosphériques désaimantent souvent les aiguilles.

La manipulation et surtout la lecture des signaux présentent une certaine difficulté et exigent de la part des employés une très-grande habitude.

Pour ne pas augmenter le nombre des mouvements élémentaires, on remplace la lettre J par la lettre I, et l'on supprime les signes de ponctuation, ce qui, dans certains cas, peut occasionner des erreurs.

Ces diverses raisons ont fait abandonner presque complétement l'appareil à aiguilles.

APPAREIL A CADRAN.

104. **Récepteur.** Cet appareil est fondé sur les principes énoncés au n° 68.

Un mouvement d'horlogerie fait tourner une aiguille extérieure fixée au même axe qu'une roue d'échappement dont la rotation est arrêtée par une ancre. Une palette en fer doux, mobile en face d'un électro-aimant, fait osciller cette ancre qui laisse passer à chaque mouvement une des dents de la roue. Le cadran extérieur porte des lettres ou des signes et l'aiguille s'arrête devant un quelconque de ces signes. Le tout est renfermé dans une boîte qui ne laisse voir que le cadran.

Nous avons pris pour modèle (planche 2) l'appareil tel qu'on le construit pour les bureaux télégraphiques des chemins de fer.

La figure 1 montre le récepteur avec son couvercle. Le cadran porte vingt-six divisions dont la supérieure est une croix, et les autres les vingt-cinq lettres de l'alphabet; les vingt-cinq premiers nombres sont placés à l'intérieur. L'aiguille HH', en mica ou en acier, est équilibrée et fixée à frottement sur l'axe H de la roue d'échappement. A la partie supérieure et à droite se trouve un petit cadran dont l'axe a correspond au ressort de rappel de la palette. Les deux bornes A et A' servent à fixer les fils par lesquels entre et sort le courant. A la place de la lettre M est un

carré *b* au moyen duquel on remonte le mouvement d'horlogerie. On peut faire avancer l'aiguille, quand le courant ne passe pas, en pressant sur le bouton *d* situé à la partie supérieure de la boîte.

Dans la figure 2 on a représenté la projection verticale de l'appareil vu de côté, dans la figure 3, la projection horizontale, et dans la figure 4 une perspective de la palette, de l'ancre et de la roue d'échappement. Les mêmes lettres dans ces figures représentent les mêmes objets.

Le mouvement d'horlogerie est compris entre deux plaques de cuivre BC et DE. Le barillet M contient le grand ressort, et son axe correspond au carré extérieur *b*. L'axe do la roue supérieure FGH porte l'aiguille indicatrice HH′ et la roue d'échappement cachée dans la figure 2 par la tige de la palette, mais qu'on voit en L dans la figure 4.

L'électro-aimant N (*fig.* 2 et 3) est posé au-dessus du mouvement d'horlogerie sur une plaque en cuivre DD′, il est fixé par deux montants verticaux et une lame de cuivre WW′. Les deux tiges de fer doux de l'électro-aimant, reliées par une troisième K, sont indépendantes des bobines et peuvent se mouvoir au moyen de la vis LL′; pour avancer ou reculer l'électro-aimant, il suffit de tourner cette vis dans le sens convenable. Les deux bobines de fil de l'électro-aimant ne sont pas solidaires; la communication de l'une à l'autre se fait par l'intermédiaire du fer doux lui-même. Les extrémités du fil recouvert de ces bobines aboutissent aux bornes Q et Q′ qui par deux lames métalliques communiquent avec les bornes extérieures A et A′.

La palette R*e*, placée en face de l'électro-aimant, est mobile autour de deux vis R et R′. La tige TT′ (*fig.* 4) ne correspond pas exactement au milieu; elle porte à la partie inférieure une petite pointe horizontale T′V engagée dans une fourchette qui tient à l'axe XY. Enfin, au milieu de cet axe est l'ancre d'échappement Z formée de deux petites lames *m* et *m′* situées dans des plans un peu différents au-dessous de la roue d'échappement L qui porte treize dents.

La roue d'échappement est sollicitée par le mouvement d'horlo-

gerie à tourner dans le sens indiqué par la flèche, mais une de ses dents est arrêtée par la pointe *m*. Lorsque le courant passe, la palette est attirée par l'électro-aimant, la tige fait un peu tourner l'axe XY, la lame *m* s'écarte et laisse passer la dent qui vient buter contre la lame *m'* ; elle reste ainsi jusqu'au moment où le courant cessant de passer, la palette revient à sa première position, la lame *m'* s'écarte, laisse passer la dent de la roue et une nouvelle est arrêtée par la lame *m*.

L'aiguille extérieure fixée au même axe tourne donc, par chaque oscillation complète de la palette, de $\frac{1}{13}$ du cadran, et pour chaque demi-oscillation de $\frac{1}{26}$. Ainsi, quand le courant traverse le fil de l'électro-aimant, l'aiguille avance d'une division; si elle était sur la croix, elle vient en face de la lettre A. Quand le courant est interrompu, l'aiguille avance de nouveau et se place en face de la lettre B, ainsi de suite. Pour qu'elle fasse un tour complet, il faut treize émissions de courant.

Les deux petites vis *n* et *n'*, fixées à une pièce en cuivre qui fait corps avec la plaque DE, limitent le jeu de la tige TT'.

Le ressort de rappel est un petit ressort à boudin attaché en *q* à la tige de la palette. Il est terminé par un fil *rr'r''a'* qui s'enroule sur la petite poulie a' dont l'axe est prolongé à l'extérieur de la boîte jusqu'en a.

A la partie supérieure du cadran est une petite tige *tt'* qui, quand elle est pressée de haut en bas, tourne autour d'un axe et fait mouvoir la lame recourbée *t't''*. Cette lame presse alors la palette contre l'électro-aimant et produit le même effet que le passage du courant. C'est en abaissant le bouton extérieur *d*, figure 1, qu'on produit ce mouvement.

On met l'appareil en état de fonctionner au moyen de deux petites vis *n* et *n'* qu'on doit serrer de façon à donner à la tige de la palette le moins de jeu possible, en lui en laissant toutefois assez pour qu'à chaque mouvement une des dents de la roue d'échappement puisse passer.

Il reste alors pour régler la marche de l'aiguille, suivant l'intensité du courant, l'électro-aimant qu'on peut avancer ou recu-

ler, et le ressort de rappel qu'on tend à l'extérieur avec la petite clef *f*.

On reconnaît que l'appareil est bien réglé quand l'aiguille tourne régulièrement sous l'action d'une série d'interruptions rapides de courant.

Quelquefois les lames *m* et *m'* (*fig.* 4) sont un peu trop écartées et dans un seul mouvement de la palette il passe plusieurs dents de la roue d'échappement; on doit alors les rapprocher ou donner aux vis *n* et *n'* un plus grand écartement.

Quand le jeu de la palette est trop considérable, il peut arriver que les lames *m* et *m'* se trouvent à un moment donné toutes les deux du même côté de la roue d'échappement; le mouvement d'horlogerie n'étant plus retenu, les roues tournent avec une grande vitesse jusqu'à ce que le ressort ait épuisé son action. Quand on touche à cette partie de l'instrument, on doit retenir à la main le barillet M, pour prévenir la rupture du grand ressort et de l'aiguille.

105. **Manipulateur.** — Le manipulateur (*fig.* 5) est formé d'une planche carrée sur laquelle repose un cadran en laiton portant sur son pourtour, en face d'échancrures, les mêmes lettres que le récepteur et disposées dans le même ordre.

Une manivelle AB articulée au centre du plateau fait tourner une roue à gorge sinueuse que la figure montre en partie à découvert et dont les sinuosités régulières sont en nombre égal à celui des signes du cadran. Dans sa rotation, cette roue produit un mouvement de va-et-vient du levier IOF mobile autour du point O et dont l'extrémité F, terminée par un petit ressort FD va toucher alternativement les deux vis P et P' engagées dans deux petites pièces de cuivre.

Toutes les fois que la manivelle est au-dessus d'un chiffre pair, le levier appuie sur le contact P'; quand elle est au-dessus d'un chiffre impair, le levier appuie sur le contact P. Pour un tour complet de la manivelle, le levier touche treize fois le contact P et treize fois le contact P'.

NV et N'V' sont deux ressorts mobiles autour de N et N' qu'on peut faire appuyer sur l'une quelconque des lames L, K, H et

L', K'; H'. Des communications métalliques sont établies en dessous de la planche entre les différents boutons qu'on voit sur le manipulateur.

P communique avec C;

P' avec E et E';

Z avec T, G, G', H et H';

L et L' avec l'axe O du levier;

On fait communiquer C avec le pôle cuivre de la pile, Z avec le pôle zinc et T avec la terre.

Les deux fils du récepteur s'attachent en G et E ou en G' et E', et le fil de la ligne en N ou en N'.

En H, K et H', K' on fixe des fils de sonnerie.

Les deux commutateurs NV et N'V' permettent d'employer un seul manipulateur pour deux directions différentes.

106. **Transmission.** — Quand on veut correspondre, on place le ressort NV sur le contact L.

Dans la position de la figure 5, le courant qui vient de la ligne X suit la route NLL'OFP'VE, il traverse le récepteur, revient en E, d'où il se rend à la terre par le fil GT.

Pour transmettre, on tourne la manivelle AB. En la plaçant sur la lettre A, le ressort OD vient toucher le contact P, le courant part du pôle cuivre de la pile, suit la route CPFOL'LN et se rend au poste correspondant X. Il produit une attraction de la palette et l'aiguille du récepteur avance sur la lettre A. En portant la manivelle sur B, le levier OD reprend sa position, le courant est interrompu et l'aiguille, au poste correspondant, avançant d'une nouvelle division, se trouve au-dessus du B. Si l'aiguille du récepteur et la manivelle du manipulateur sont sur la croix, et si l'on tourne cette manivelle rapidement pour l'arrêter à une lettre quelconque, à l'extrémité de la ligne l'aiguille du récepteur indiquera la même lettre.

Quand, au lieu de tourner la manivelle, en suivant l'ordre alphabétique des lettres, on revient en arrière, l'aiguille indicatrice au poste correspondant continue à tourner dans le même sens et il y a désaccord entre les lettres transmises et les lettres reçues. Pour rétablir la concordance, il faut ramener de l'un des

côtés la manivelle à la croix, et de l'autre faire avancer l'aiguille à l'aide du bouton placé au-dessus de l'appareil jusqu'à ce qu'elle se trouve également en regard de la croix.

A l'état de repos, le ressort N doit appuyer sur le contact K, afin que, si le courant vient de la ligne, il puisse traverser la sonnerie et se rendre à la terre par le fil HGT.

On fait communiquer directement la ligne avec la terre en plaçant le ressort NV sur le contact H, précaution qu'on prend en cas d'orage.

Si deux lignes aboutissent en N et N′, on fait correspondre directement les deux postes voisins en plaçant les deux commutateurs NV et N′V′ sur la lame marquée *communication directe.*

107. — Un seul manipulateur et un seul récepteur suffisent pour correspondre successivement avec deux postes différents, pourvu que l'on ait deux sonneries en communication avec les boutons H et K, H′ et K′.

La figure 6 montre la disposition de deux bureaux correspondants X et X′ dont le premier est poste extrême et le second correspond avec X et avec un troisième X″.

PP′ sont les deux piles;

MM′ les manipulateurs;

RR′ les récepteurs;

SS′S″ les sonneries que nous décrirons plus loin;

BB′B″ les galvanomètres qui sont constamment dans le circuit et indiquent le passage du courant.

108. — Dans la position normale les commutateurs sont placés sur les contacts qui correspondent aux sonneries, les aiguilles des récepteurs et les manivelles des manipulateurs sont sur la croix.

Quand, à l'un des postes, un employé veut envoyer une dépêche, il place le commutateur relié au fil par lequel il doit transmettre sur le contact L ou L′ (*fig.* 5) et envoie le courant en tournant la manivelle. Le correspondant, averti par le mouvement de sa sonnerie, établit son commutateur de la même manière et indique par un tour de manivelle qu'il est prêt à recevoir. Le premier transmet alors sa dépêche lettre par lettre en conduisant la manivelle régulièrement et en s'arrêtant quelques instants sur les lettres

qu'il veut faire passer. S'il dépasse une lettre qui devait être transmise, il doit se garder de revenir en arrière, mais il continue le tour pour arriver à cette lettre en passant par la croix. Il doit, pour éviter toute confusion, s'arrêter à la croix après chaque mot. Quand la transmission est terminée, il fait un tour de manivelle en s'arrêtant sur la lettre Z et revient à la croix. Ce signal se nomme le final. Le correspondant, s'il a compris, répond immédiatement par les deux lettres CO. On se remet alors, des deux côtés, en communication avec les sonneries.

Un employé exercé peut transmettre aisément de soixante à soixante-dix lettres par minute.

Si la dépêche contient des nombres en chiffres, on indique, en arrêtant deux fois la manivelle sur la croix, que les signaux suivants doivent être pris parmi les chiffres.

Lorsque, dans le cours de la transmission, les signaux deviennent inintelligibles, celui qui les reçoit fait un tour de manivelle pour prévenir son correspondant et s'arrête un instant pour faire revenir à la croix l'aiguille de son récepteur, opération qui est faite en même temps à l'autre poste. Il passe les deux lettres RZ (répétez) en les faisant suivre du dernier mot compris, et revient à la croix pour attendre la continuation de la dépêche.

Il peut arriver que l'aiguille de l'appareil ne tourne pas régulièrement, la transmission est alors imparfaite et l'appareil doit être réglé. On prie dans ce cas le correspondant de tourner sa manivelle et l'on tend ou l'on détend le ressort de rappel, au moyen de la petite clef destinée à cet usage, jusqu'à ce que la marche de l'aiguille soit bien régulière ; on avertit alors le correspondant en lui envoyant le courant et en tournant aussi la manivelle, afin qu'il puisse, à son tour, faire la même opération.

Pour transmettre à un poste plus éloigné que le correspondant ordinaire, on demande la communication directe par un tour de manivelle suivi du nom de la station avec laquelle on veut correspondre et du nombre de minutes que doit durer le travail. L'employé, prévenu de cette demande, répond CO et place immédiatement les deux commutateurs sur la lame de communication directe.

Les postes suivants, avertis de la même manière, font la même manœuvre qui se répète ainsi jusqu'à la station demandée.

Un employé doit toujours répondre immédiatement à l'attaque qui lui est faite par un de ses correspondants. S'il est occupé d'un autre côté, il se borne à passer les deux lettres AZ (attendez), et dès qu'il peut recevoir il prévient en tournant sa manivelle.

Pour simplifier les transmissions, on fait quelquefois des tableaux de signaux conventionnels en combinant les chiffres deux à deux, et en plaçant en regard les phrases les plus usuelles, telles que :

5. 17. — Le train part à l'heure ;

4. 3. — Le train est arrivé, etc.

Un signal déterminé d'avance indique l'emploi des tableaux conventionnels.

Les manipulateurs peuvent avoir plusieurs commutateurs semblables à NV et N'V', et peuvent servir pour communiquer dans plus de deux directions différentes pourvu qu'il y ait une sonnerie spéciale affectée à chaque ligne.

On ne doit pas toutefois multiplier ces commutateurs surtout dans les postes où plusieurs employés peuvent prendre part simultanément à la manipulation, car les transmissions ne pouvant s'effectuer que successivement au moyen du même appareil, le service pourrait être entravé.

L'appareil à cadran ne laisse aucune trace des dépêches, et par conséquent la lecture des signaux exige, de la part des employés, une attention soutenue, mais sa manipulation est si simple que toute personne étrangère à la télégraphie peut, sans étude préalable, arriver à se faire comprendre ; il sera toujours un instrument extrêmement précieux pour les chemins de fer et pour toutes les applications où l'emploi du télégraphe n'est qu'un accessoire.

APPAREIL FRANÇAIS A SIGNAUX.

109. Récepteur. — L'appareil français à signaux ne diffère de l'appareil à cadran que par le nombre des dents de la roue d'é-

chappement qui, au lieu d'être de treize, est seulement de quatre. L'aiguille, en tournant, au lieu de s'arrêter vingt-six fois, ne s'arrête que huit fois, et, comme les angles eux-mêmes suffisent pour déterminer les signaux, il est inutile de les marquer sur le cadran.

L'appareil comprend presque toujours deux systèmes semblables de façon à pouvoir fonctionner avec deux fils.

DCE, D'C'E' (pl. 3, *fig.* 1) sont les deux aiguilles indicatrices en mica, noircies du côté qui marque les signaux. Elles sont fixées à simple frottement sur les axes C et C'.

G et G', les carrés qui correspondent aux barillets et servent à remonter les mouvements d'horlogerie ;

F et F', les axes des poulies qu'on tourne au moyen de petites clefs H et H' pour tendre les ressorts de rappel ;

A et B, A' et B', les bornes en cuivre auxquelles se fixent les fils par lesquels entre et sort le courant.

L'un des systèmes est dessiné en projection verticale dans la figure 2.

L'électro-aimant I, au lieu d'être à la partie supérieure comme pour l'appareil à cadran, repose sur le fond de la boîte et est maintenu par deux tiges verticales et une barre de cuivre horizontale.

Le fer doux de l'électro-aimant peut être avancé ou reculé au moyen de la vis K.

La palette QM est mobile autour de deux vis dont une seule est visible en M ; sa tige NP se termine à la partie supérieure par une pointe horizontale engagée dans une petite fourchette. L'axe qui porte cette fourchette et l'ancre d'échappement sont retenus par la vis *a* ; la disposition est analogue à celle de la figure 4, planche 2.

Le mouvement d'horlogerie est compris entre deux plaques de cuivre. L'axe de la dernière roue mC porte l'aiguille extérieure DCE et la roue d'échappement munie de quatre dents que la tige de la palette cache dans la figure. Les deux vis *x* et *y* limitent la course de la tige de la palette.

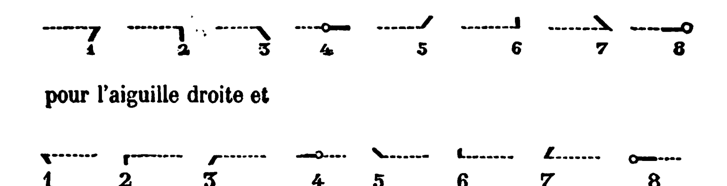
Le ressort de rappel est fixé en *u* à la tige NP. Il est terminé par un fil qui passe dans les gorges V et S, et s'enroule sur la petite poulie T dont l'axe est prolongé jusqu'en F.

L (*fig.* 1 et 2) est une tige recourbée en L'' qui sert à faire mouvoir la palette directement.

Les fils des électro-aimants aboutissent à deux petits boutons qui, par des lames métalliques, communiquent avec les bornes extérieures A et B.

Le jeu de cet appareil est le même que celui de l'appareil à cadran. Lorsque le courant traverse le fil de l'électro-aimant, la palette est attirée, la tige fait mouvoir la fourchette et l'ancre d'échappement qui laisse passer une seule dent de la roue. Pendant ce mouvement, l'aiguille tourne d'un angle de 45°. Quand le courant cesse de passer, la palette revient à sa première position et l'aiguille tourne de nouveau de 45°.

L'aiguille produit donc la série des angles de 45° en 45° depuis 0° jusqu'à 360°, ce qui donne les signaux suivants :



pour l'aiguille droite et

1 2 3 4 5 6 7 8

pour l'aiguille gauche.

110. **Manipulateur.** — Le manipulateur (*fig.* 3) est formé d'une colonne verticale en cuivre AB terminée par un cylindre horizontal CD. Dans l'intérieur de ce cylindre peut tourner un axe qui tient d'un côté à la manivelle EF et de l'autre à la roue GH à gorge quadrangulaire dont les angles sont arrondis. IK est un disque ou diviseur qui porte huit crans dans lesquels s'engage la manivelle pressée par un ressort intérieur. Un levier coudé LMN pénètre dans la gorge en N ; son autre extrémité est fixée à la tige LP à la partie inférieure de laquelle est un petit ressort à marteau qui vient frapper alternativement contre les deux contacts X et Y.

Pour les positions de la manivelle marquées 0, 2, 4 et 6, le

marteau appuie sur le contact X, pour les quatre autres sur le contact Y.

Les deux pièces métalliques qui forment ces contacts sont isolées au moyen d'une plaque d'ivoire et portent des petits trous dans lesquels on engage les fils qui correspondent, au récepteur pour X et à la pile pour Y. Le fil de la ligne s'attache en Z sur la base même de la colonne.

Lorsque la manivelle est dans une des quatre positions 0, 2, 4 et 6, le courant, venant de la ligne en Z, passe dans la colonne et par la tige LP, le ressort à marteau J, le contact X, se rend au récepteur d'où il sort pour aller à la terre.

Dans les quatre autres positions, le pôle de la pile est en communication avec la ligne par l'intermédiaire du contact Y, du ressort à marteau, de la tige et de la colonne.

111. **Manipulation.** — La manivelle du manipulateur de l'un des postes A, et l'aiguille du récepteur de l'autre poste B ayant la même position horizontale (*fig.* 78), supposons que l'on abaisse la

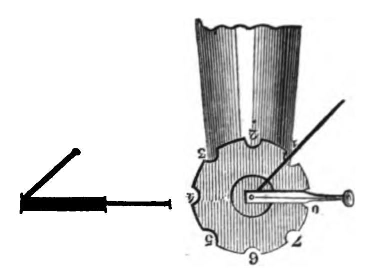


Fig. 78.

manivelle et qu'on la place en face du cran qui porte le n° 1. Au même moment le courant traverse le récepteur de B, l'aiguille tourne d'un angle de 45° et reste dans cette position tant que la manivelle A ne change pas. Si l'on place la manivelle sur le cran n° 2, le courant cesse de passer sur la ligne et l'aiguille de B avance encore de 45°.

Le même mouvement de rotation se produit si l'on continue à

tourner la manivelle, et l'angle que forme l'aiguille avec sa position primitive est toujours le même que celui de la manivelle.

A l'état de repos, les récepteurs des deux postes correspondants doivent avoir leur aiguille horizontale, les indicateurs cachent les barres tracées sur les cadrans ; les manivelles ont la même position.

Quand à l'un d'eux on veut envoyer un signal, on tourne rapidement la manivelle en parcourant d'abord la partie inférieure du diviseur et l'on s'arrête au cran qui correspond à l'angle qu'on doit transmettre. L'aiguille de l'autre poste indique aussitôt le même angle. Pour produire un second signe, on continue à tourner la manivelle dans le même sens jusqu'au cran qui représente le nouvel angle. Il y aurait évidemment désaccord entre les signaux transmis et ceux qui sont reçus, si l'on ne tournait pas la manivelle dans le même sens.

Toutes les observations que nous avons faites pour l'appareil à cadran s'appliquent à l'appareil à signaux. Ainsi, pour régler l'appareil, on serre les vis x et y de façon à donner un jeu convenable à la tige de la palette. On règle l'appareil en faisant tourner rapidement la manivelle du poste correspondant et en tendant ou détendant le ressort de rappel à l'aide de la clef H jusqu'au moment où l'aiguille tourne régulièrement.

On peut également avancer ou reculer l'électro-aimant quand l'intensité du courant est trop faible ou trop forte, mais il est préférable de le maintenir à une très-petite distance de la palette, sauf à faire diminuer ou augmenter la pile au poste correspondant.

112. — L'appareil français fonctionne ordinairement au moyen de deux fils distincts.

La figure 4 montre la disposition la plus simple d'un poste.

Les deux manipulateurs à colonne sont fixés sur la table par de fortes vis qui traversent la planche; ils correspondent aux deux fils d'une même ligne et aux deux côtés du récepteur. Les fils de pile arrivent à un commutateur qui permet d'augmenter ou de diminuer le nombre des éléments employés; un seul fil partant du commutateur est relié aux deux manipulateurs.

Bien que la seule pile serve pour transmettre le courant soit sur un seul fil, soit sur les deux simultanément, l'intensité est assez constante pour qu'il n'y ait aucune perturbation dans la transmission [1].

La manipulation se fait avec les deux mains. Si on tourne les manivelles pour les arrêter à deux crans quelconques des diviseurs, les deux positions qu'elles prennent sont identiquement reproduites par les aiguilles du récepteur à l'extrémité de la ligne.

113. — On a fait des planchettes et des commutateurs spéciaux pour l'appareil à signaux. Un de ces commutateurs est représenté dans la planche 3 (*fig.* 5) ; les deux fils de la ligne arrivent aux boutons L et L′ ; le courant traverse une plaque en cuivre, munie de pointes en regard de la plaque T qui communique avec la terre. P et P′ sont les paratonnerres décrits dans le précédent chapitre ; R et R′ des commutateurs qui permettent de faire communiquer les deux fils de la ligne avec l'un quelconque des fils attachés en C, B, A et C′, B′, A′. En A et A′, par exemple, on place les fils qui correspondent aux deux manipulateurs, en B et B′ des fils de communication directe, en C et C′ des fils de sonnerie.

114. **Alphabet.** — La combinaison des angles que forment les deux aiguilles fournit quatre-vingt-quatre signaux qui peuvent représenter les vingt-quatre lettres, les dix premiers nombres, les principales syllabes et quelques signaux réglementaires.

Voici le dernier alphabet adopté par l'administration française. (*Voir* au verso).

Quand l'indicateur cache la barre horizontale de l'appareil, on ne l'indique pas dans le dessin du signal ; quand au contraire il est sur le prolongement, on le marque par l'indice o.

La position réglementaire est celle du fermé.

L'attaque se fait par un tour de manivelle à laquelle le correspondant répond de la même manière.

Toute transmission commence par l'ouverture. L'activité précède toute dépêche privée et l'urgence toute dépêche officielle.

1. Nous avons vu qu'une seule pile suffit pour envoyer simultanément le courant dans cinq ou six directions différentes.

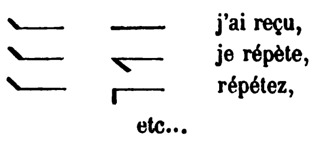
On indique la fin de chaque mot en fermant les indicateurs.

Quand les signaux sont inintelligibles, celui qui les reçoit interrompt son correspondant en tournant la manivelle et passe le



dernier mot compris. On rétablit des deux côtés la position normale des manivelles et des indicateurs et la correspondance continue.

En faisant précéder les signaux d'une clef ou d'un signal déterminé d'avance on obtient soixante-quatre nouvelles combinaisons au moyen desquelles on a formé des tableaux de phrases conventionnelles, telles que :



etc...

La transmission se fait avec une rapidité merveilleuse. La lecture est également rapide, car les signaux se dessinent, par les angles qu'ils font, sans qu'il soit nécessaire, comme pour l'appareil à cadran, de suivre une aiguille dans les vingt-six positions qu'elle peut occuper, ou de compter mentalement ses mouvements comme pour l'appareil anglais.

Un employé très-habile peut faire passer jusqu'à deux cent trente lettres par minute, mais, dans les circonstances ordinaires, on ne peut compter que sur cent vingt à cent trente lettres.

En combinant les signaux deux à deux, on dresse des vocabulaires pouvant contenir un nombre indéfini de phrases ou de mots, et assez compliqués pour qu'il soit impossible d'en trouver la clef. Comme les signes n'ont plus de signification intelligible, on passe les signaux par dizaine, et l'on fait suivre chaque dizaine du fermé pour qu'on puisse reconnaître quand les manivelles et les indicateurs ne sont plus d'accord. Si ce cas se présente, on fait répéter la dizaine que l'on croit fautive.

Pour ces vocabulaires, on peut prendre, soit les signaux eux-mêmes qui s'écrivent facilement à la main, soit les lettres et les chiffres qu'ils représentent d'après l'alphabet indiqué plus haut.

115. — On a souvent besoin de nommer les signaux directement, abstraction faite des lettres ou chiffres qu'ils représentent.

Au lieu de désigner les ang'es que forment les aiguilles par leur valeur absolue, ou de leur affecter des nombres simples comme nous l'avons fait jusqu'ici, on a conservé une ancienne méthode empruntée à la télégraphie aérienne.

On nomme :

Zéro la position de l'aiguille à l'état de repos,
Cinq celle qui correspond à un angle de 45°,

Dix. . . . . de 90°,
Quinze. . . . . de 135°.

On ajoute le mot *ciel* aux angles formés au-dessus de la position normale et le mot *terre* aux angles formés au-dessous.

Enfin quand l'aiguille est sur le prolongement de la ligne des centres, on l'indique par le terme *grand zéro*.

Dans la dénomination d'un signal on commence toujours par le côté gauche. Si les angles formés par les deux aiguilles sont identiques, on les réunit dans une seule expression.

Exemples : s'énonce dix ciel quinze terre;
quinze et cinq terre;
zéro dix terre;
deux cinq terre;
grand zéro dix ciel;
cinq terre grand zéro.

Les signaux formés par cet appareil sont analogues à ceux du télégraphe aérien. Aussi, a-t-on, pendant quelque temps, conservé les anciens vocabulaires pour les dépêches secrètes.

Le télégraphe aérien pouvait donner toutes les combinaisons précédentes moins celles qui correspondent au cas où l'aiguille est sur le prolongement de la barre du cadran, mais, en outre, il pouvait fournir les mêmes signaux portés verticalement, tels que :



Pour indiquer la position horizontale ou verticale des signaux, on faisait précéder le signal qui devait être porté verticalement de l'indice ——o.

116. — Dans beaucoup de circonstances, la transmission se fait au moyen d'un seul fil, soit qu'on se serve d'appareils spéciaux n'ayant qu'un seul indicateur, soit qu'on emploie des appareils à deux indicateurs dont un seul fonctionne. Ce travail se fait nécessairement lorsque les lignes n'ont qu'un seul fil ou lorsqu'on

sépare les différents fils d'une ligne pour correspondre avec plusieurs postes.

Dans ce cas on se sert du même alphabêt que pour l'appareil à deux fils, mais les signaux se décomposent en deux parties et se font avec un seul indicateur. On forme d'abord l'angle de gauche qu'on fait suivre immédiatement de l'angle de droite. Ainsi le signal ⟵┐ se remplace par les deux signaux ⟵ ┌─ avec la manivelle gauche et ⟶ ─┐ avec la manivelle droite.

Ce changement, qui, au premier abord, semble compliquer la manipulation, n'offre par le fait aucune difficulté; il suffit de quelques jours aux employés pour s'y habituer.

La transmission par un seul fil est plus lente que lorsqu'elle se fait par deux fils; mais le nombre des signaux qu'on peut passer dans un temps donné n'est pas réduit de moitié. On peut admettre quatre-vingts à quatre-vingt-dix lettres par minute au lieu de cent trente.

La rapidité de transmission est donc encore plus grande que celle qu'on obtient avec l'appareil à cadran, bien qu'il faille deux temps d'arrêt pour chaque lettre.

La raison en est assez facile à saisir. Pour deux tours de manivelle, c'est-à-dire pour huit émissions de courant, on produit soixante-quatre combinaisons, tandis qu'on en obtient seulement vingt-six, avec l'appareil à cadran, quand on fait passer le courant treize fois.

Quand deux lignes à un seul fil aboutissent au même poste et qu'un employé est chargé de la transmission dans les deux directions, on place ordinairement ces deux fils aux deux côtés du même appareil.

117. — On a essayé de faire servir comme translateurs les appareils à signaux, mais le résultat n'a pas été très-satisfaisant.

D'après ce que nous avons dit au nº 74, il suffit d'isoler les deux vis x et y (*fig.* 2) au moyen de lames d'ivoire, de les faire communiquer ainsi que la palette à des bornes extérieures et d'établir les communications suivantes :

1º de la vis x avec un autre récepteur semblable; 2º de la pa-

lette avec l'une des lignes qui aboutit au poste ; 3° de la vis *y* avec la pile.

118. — On croit généralement que l'appareil à signaux a été conservé par l'administration, uniquement parce qu'il reproduit les signaux du télégraphe aérien et qu'on n'a pas voulu apporter de modifications aux vocabulaires ni de changements dans le personnel. C'est une erreur que nous croyons devoir relever.

Les vocabulaires ont été refaits à plusieurs reprises et peu de stationnaires aériens sont restés au même titre dans la télégraphie électrique.

L'idée de conserver les signaux du télégraphe aérien est en effet celle qui a présidé à la construction des premiers appareils, et elle était bien naturelle au moment de l'établissement de la première ligne électrique, alors que le succès était douteux et qu'on ne voulait pas changer le système administratif en vue d'un simple essai.

On aurait pu sans doute arriver au résultat en écrivant sur un cadran les quatre-vingt-dix-huit signaux du télégraphe aérien et en donnant à la roue d'échappement quarante-neuf dents au lieu de quatre. Mais il n'est pas nécessaire d'insister sur l'absurdité d'une semblable solution qui aurait necessité pour la production de chaque signal, en moyenne, quarante-neuf émissions de courant.

On eut l'idée ingénieuse de reproduire seulement les angles, et, après quelques essais, on arriva au récepteur que nous avons décrit.

On put reconnaître alors que, si l'on s'était posé pour problème de trouver le nombre de divisions qu'il convient de donner à un cadran devant lequel tourne une aiguille, pour avoir le plus grand nombre de signaux, en faisant passer le courant le moins de fois possible, et de produire les signes les plus faciles à saisir, on aurait dû choisir cette disposition, abstraction faite de toute idée du télégraphe aérien.

Si de plus on veut bien remarquer que les lignes électriques doivent en général avoir deux fils, pour que, en cas de rupture de l'un des deux, l'autre puisse servir seul, que, dans les pre-

mières années, le service télégraphique n'était pas assez important pour qu'on crût devoir séparer les fils en doublant le personnel, on reconnaîtra qu'on ne pouvait avoir des conditions plus favorables, car on pouvait, à l'état ordinaire, employer les deux fils pour la transmission, et à un moment quelconque continuer le travail avec un seul fil sans aucun changement dans le mode de manipulation.

L'objection qu'on a faite d'un alphabet spécial qui n'est pas nécessaire pour l'appareil à cadran, ne peut avoir de valeur dans une administration essentiellement constituée pour la transmission télégraphique des dépêches, et dans le sein de laquelle on doit conséquemment regarder comme utile un temps d'épreuve ou de surnumérariat imposé aux agents.

Depuis quelques années, les circonstances sont devenues différentes.

Les lignes électriques ont pris un immense développement, et les fils ont été divisés de telle sorte que la plupart des appareils fonctionnent avec un seul indicateur.

L'étendue des lignes a nécessité l'établissement d'appareils de translation dans un grand nombre de bureaux intermédiaires, et les récepteurs français n'ont pas donné de bons résultats.

Le contrôle, qui est devenu plus important à mesure que le service a pris de l'extension, se fait difficilement avec des appareils qui ne conservent aucune trace des dépêches.

Enfin les communications continuelles avec les pays étrangers ont rendu nécessaire l'adoption d'un système unique pouvant permettre les transmissions entre les différentes capitales.

Ces diverses considérations ont déterminé l'administration française à abandonner l'appareil à signaux pour prendre l'appareil Morse.

Quoi qu'il en soit, l'appareil français à signaux restera dans l'histoire de la télégraphie comme l'un des plus ingénieux et comme celui qui, au début, pouvait rendre le plus de services.

APPAREIL MORSE.

119. — L'appareil Morse fonctionne depuis longtemps en Amérique, il est aujourd'hui adopté presque exclusivement par toutes les administrations télégraphiques de l'Europe.

Les signaux sont marqués par un stylet sur une bande de papier qui se déroule sous l'action d'un mécanisme d'horlogerie, et sont formés de traits et de points. Le stylet terminé par une pointe d'acier produit une dépression du papier facile à distinguer par l'ombre qu'elle forme quand on place la bande du côté du jour.

Le mouvement de ce stylet exigeant, pour donner une bonne impression, une assez grande force magnétique, cet appareil marche au moyen d'un relais (nº 72). Il est de plus disposé ordinairement de façon à pouvoir servir comme translateur.

120. **Manipulateur.** — La figure 79 représente le manipulateur en projections verticale et horizontale. Il est formé d'une pièce de bois ABCD sur laquelle est fixé un levier en cuivre MIEF mobile autour de l'axe horizontal KL. L'axe KL tient à une pièce en cuivre et peut être serré au moyen de la vis K. Sur la planchette sont deux pointes H et N situées des deux côtés de l'axe KL. Un ressort PR presse le levier et le fait appuyer à l'état ordinaire sur la pointe H. La vis M qui traverse le levier assure le contact.

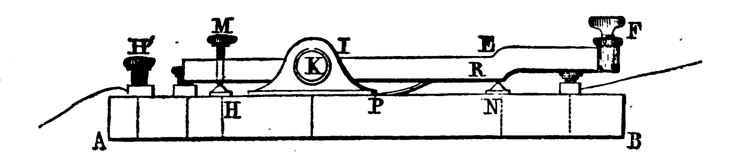
La planchette est traversée par trois fils conducteurs qui correspondent à la pièce en cuivre sur laquelle est l'axe KL et aux pointes H et N. Enfin des communications métalliques LL′, HH′ et NN′ sont établies sous la planchette entre ces fils et les trois bornes L′, H′, N′. A la première on attache le fil de la ligne, à la seconde celui du récepteur et à la troisième celui de la pile.

La manipulation se fait à l'aide de la poignée F placée à l'extrémité.

Pour envoyer le courant il suffit d'appuyer sur cette poignée ; le levier vient presser sur la pointe N et fait communiquer le fil de la ligne avec le pôle de la pile.

A l'état de repos, la vis M presse la pointe H et le courant qui vient de la ligne par le bouton L′ passe dans le levier et arrive par la communication HH′ au récepteur.

121. **Récepteur.** — Le récepteur comprend deux parties distinctes, le relais et l'appareil à signaux, qui sont souvent réunies



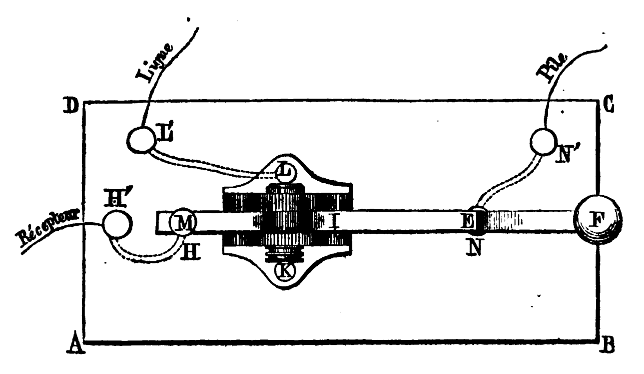


Fig. 79.

sur la même planchette. La planche 4 représente un des premiers appareils construits pour l'administration française.

La figure 1 montre une coupe verticale, et les figures 2 et 3 deux projections horizontales de l'appareil ; les mêmes lettres représentent les mêmes objets dans ces trois figures.

Le relais est établi sur une platine de cuivre X_1 X_2. L'électro-aimant A est soutenu par le support A'A'' ; les extrémités du fil recouvert traversent la planchette par deux petits trous *a* et *a'* et aboutissent aux boutons extérieurs L et T dont l'un correspond au manipulateur et l'autre à la terre (*fig.* 1 et 2).

La palette placée en face de l'électro-aimant oscille autour de deux petites vis dont une seule *n* est visible. Le ressort de rappel attaché à l'extrémité inférieure *f* se termine par un fil de soie qui s'enroule sur l'axe EF.

La palette est terminée à la partie supérieure par une tige qui se meut entre les deux grandes vis D et D'. A l'état de repos, cette tige touche la vis D'. La vis D est engagée dans une pièce de cuivre recourbée K qui entoure la tige de la palette, elle est isolée par une plaque en ivoire du support en cuivre MM' qui soutient la vis D' et les vis *nn*.

La pièce K porte à la partie inférieure une tige verticale *pp'* qui traverse le plateau du relais, la planchette et, par un fil conducteur, communique avec le bouton extérieur C auquel se fixe un des pôles de la pile locale.

Enfin sur la partie horizontale de la pièce en cuivre MM' se trouve une vis qui traverse également la planchette, et communique avec le fil de l'électro-aimant de l'appareil à signaux.

En résumé, la vis D est en communication avec un des pôles de la pile locale par la tige *pp'* et la pièce K, tandis que la palette, par l'intermédiaire du support MM' et des deux vis *n*, communique avec l'électro-aimant B de l'appareil à signaux dont le fil passe par les deux petits trous *b* et *b'*. *b'* correspond au bouton extérieur Z qu'on relie au second pôle de la pile locale.

Le circuit de cette pile est donc fermé quand la palette du relais, étant attirée par l'électro-aimant A, sa tige vient toucher la vis D, et le courant qu'elle produit passe autour de l'électro-aimant B.

122. — Le levier qui marque les signaux se voit dans les figures 1 et 3; on l'a supprimé dans la figure 2 pour montrer la partie inférieure de l'appareil. Il est traversé par l'axe *o'o''* auquel il est fixé fortement au moyen des deux vis *m* et *m'*. Cet axe est mobile autour des points *o'* et *o''*; il est retenu par la vis extérieure *o* qui empêche toute oscillation transversale. Le levier porte d'un côté un cylindre de fer doux VV' qui remplace la palette et de l'autre une pointe d'acier *v* qui vient frapper contre le cylindre R quand l'électro-aimant vertical B attire le barreau VV'. Pendant ce mou-

vement, l'extrémité X du levier bute contre la colonne verticale X' X'' dont on peut relever ou abaisser le sommet au moyen de la vis X'. La vis *v'* sert à élever la pointe *v*.

La tige YY' tient au levier. Elle presse à l'état ordinaire la vis *y*, et s'en écarte quand le levier s'abaisse. La colonne X'X'' et la vis *y* remplacent les deux vis qui limitent, dans tous les appareils, la course de la tige de la palette.

Le ressort de rappel est attaché en Z'; il traverse la colonne X' X'' percée d'un trou à cet effet et s'enroule sur le petit axe Z''.

La bande de papier sur laquelle s'écrivent les signaux est disposée sur un rouleau au-dessus de l'appareil. Elle passe à frottement entre les deux cylindres R et R_1, dont le second, tournant sous l'action du mécanisme d'horlogerie, l'entraîne par frottement d'un mouvement continu. Un petit galet *r* sert à guider la bande.

Le cylindre R porte en son milieu une rainure qui correspond à la pointe du stylet et doit être assez profonde pour que cette pointe, en y pénétrant, laisse une trace bien visible sur le papier.

Le mouvement d'horlogerie est compris entre les deux plaques de cuivre SS, S'S' qui soutiennent tout le système. Un poids fait tourner directement la roue R_3 et par suite la roue R_2 et le cylindre R_1. La roue R_2 engrène en outre avec le pignon de la roue R_4 qui fait tourner autour d'un axe vertical un petit volant *h* destiné à rendre le mouvement régulier.

La tige de cuivre JJ' mobile autour de J' arrête le mouvement. Il suffit de pousser cette tige sur la droite pour dégager le volant et faire avancer le papier.

La chaîne qui supporte le poids passe sur la roue R_3 et sur une roue R_5, placée à l'extérieur. Ces deux roues portent des crans dans lesquels s'engagent les anneaux pour empêcher le glissement.

La roue R_5 (*fig.* 80) est fixée invariablement à une autre roue dentée que le doigt H, pressé par un ressort K, empêche de tourner sous l'action du poids. Elle est indépendante de toutes les autres et reste immobile pendant tout le temps que dure le mouvement.

Le poids P, suspendu au crochet d'une petite poulie, fait tour-

ner la roue R_3 et entraîne les autres roues R_2 et R. Quand il est en bas de sa course, on le remonte en tournant en sens con-

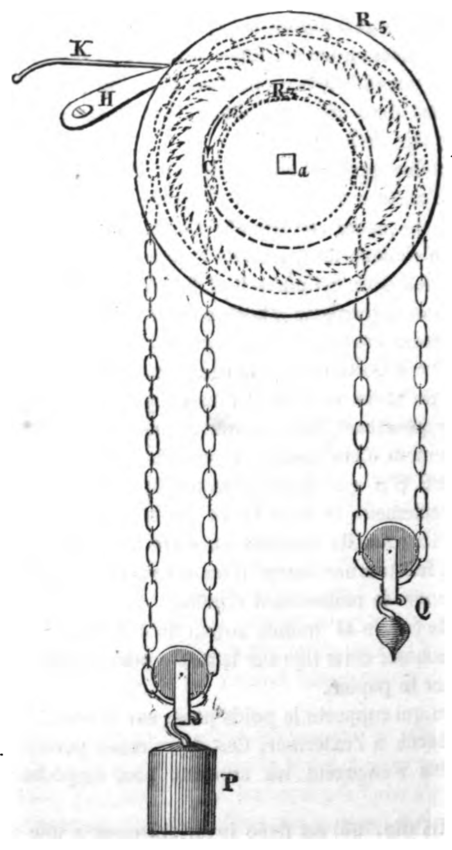


Fig. 80.

traire la roue R_5 avec une clef qu'on engage dans le carré *a*. On place ordinairement un contre-poids Q qui maintient verticale l'autre portion de la chaîne.

A mesure que le poids descend, le mouvement tend à s'accélérer, mais le volant *h* (*pl.* 4, *fig.* 1) tournant avec une grande rapidité, l'air lui oppose une résistance qui augmente avec la vitesse et maintient le mouvement uniforme.

La résistance de l'air est d'autant plus grande que l'étendue des ailes est plus considérable, de sorte qu'en les déployant ou en les serrant on peut faire varier la vitesse d'entraînement du papier.

L'axe du volant *h* est retenu par une petite vis *h'* qu'on peut serrer à volonté.

Les bornes P, I et M servent pour la translation ; nous y reviendrons tout à l'heure.

123. L'appareil doit être installé comme le montre la figure 81.

D est le manipulateur; BB' le récepteur; E un commutateur auquel aboutissent les fils de la pile; AA' est le fil de la ligne; TT' le fil terre; ZZ' et CC' les deux fils qui correspondent aux pôles de la pile locale.

Supposons que le correspondant envoie le courant en appuyant sur la poignée de son manipulateur : ce courant arrive, par l'intermédiaire du levier et du fil HM, au bouton L, traverse le fil de l'électro-aimant du relais et se rend à la terre par le fil TT'. La palette de l'électro-aimant est attirée, sa tige vient toucher la vis placée en face, et le circuit de la pile locale est fermé. Le levier qui porte le stylet étant attiré, l'impression se fait sur le papier si l'on dégage le mouvement d'horlogerie. Tant que le courant passe, cette attraction a lieu, et le papier, en se déroulant, emporte la trace d'un trait continu. Dès que le correspondant cesse d'envoyer le courant, la palette du relais revient à la position normale et rompt le circuit de la pile locale; le levier se relève sous l'action du ressort de rappel et le stylet cesse de toucher le papier.

124. **Réglage de l'appareil.** — L'appareil à signaux doit se régler sans qu'il soit nécessaire de faire transmettre par le correspondant, car, en faisant mouvoir à la main la palette du relais, on produit des signes sur la bande de papier.

1° La vis *o* (*pl.* 4, *fig.* 3), qui maintient l'axe *oo'* doit être suffisamment serrée pour empêcher tout ballottement du levier

en lui laissant assez de jeu pour que son mouvement dans le sens vertical puisse s'opérer facilement;

2° La pointe *v* doit se trouver exactement au-dessus de la rai-

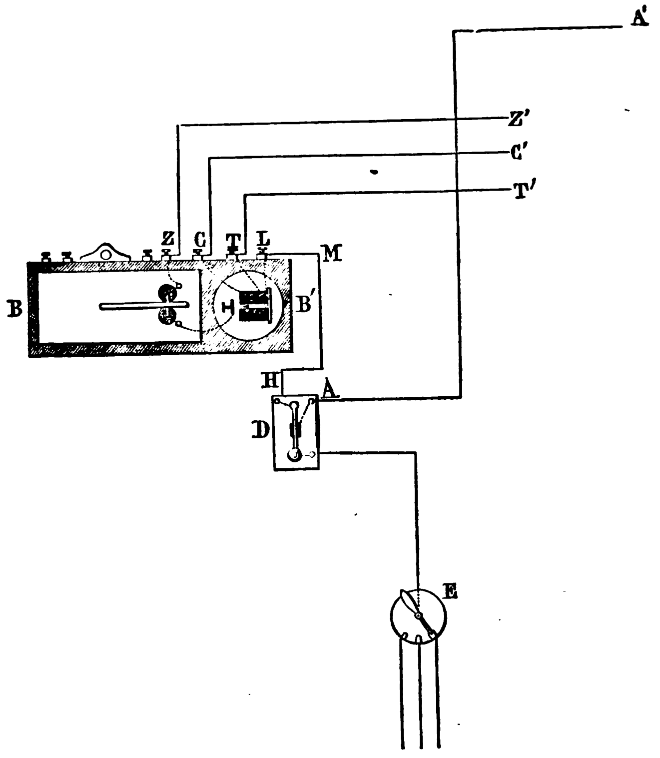


Fig. 81.

nure pratiquée dans le cylindre R; pour l'y amener, on peut avancer ou reculer le lévier au moyen des deux vis *m* et *m'*;

3° En avançant ou reculant la vis *y*, on fait en sorte que le cylindre de fer doux soit à l'état de repos à une distance convenable de l'électro-aimant. Comme la pile locale développe une

assez grande force magnétique, cette distance peut être plus grande que pour les appareils qui marchent sous l'action directe du courant de la ligne. Plus le mouvement du levier est considérable, et plus la trace laissée par le stylet sur le papier est profonde.

4° La vis X' doit être élevée suffisamment pour que l'extrémité X vienne buter contre la colonne X'X'' en empêchant le barreau VV' de frapper sur l'électro-aimant, mais si elle l'était trop, la pointe sèche ne pourrait pénétrer dans la rainure du cylindre R.

La colonne X'X'' peut paraître inutile puisque le levier est arrêté par le choc de la pointe *v* contre le cylindre R; mais on verra plus loin son usage pour la translation. Elle empêche d'ailleurs que la pointe ne pénètre trop profondément dans la rainure et ne déchire le papier.

5° On élève ou on abaisse, quand il est nécessaire, la pointe sèche en tournant la vis *v'*.

6° Il reste, pour régler le jeu du levier, le ressort de rappel ZZ' qu'on tend plus ou moins au moyen de l'axe Z' suivant la force de la pile locale.

7° Le papier se passe facilement entre les cylindres R et *r*, qu'on peut serrer plus ou moins avec des vis de pression placées sur le côté de l'appareil; ces vis permettent en même temps d'élever ou d'abaisser toute la partie RR_1r.

Lorsque le circuit de la pile locale est fermé, si le stylet ne laisse pas de trace sur le papier, on élève la pointe *v* et l'on abaisse la tête de la colonne X''X', et si ces deux moyens réunis ne sont pas suffisants et que le cylindre V touche l'électro-aimant, on baisse tout le système RR_1r au moyen des vis de pression.

Si, au contraire, la trace laissée par le stylet persiste quand le circuit est rompu, on fait les opérations inverses.

On est toujours certain d'arriver, après quelques tâtonnements, à un bon résultat, quand la rainure du cylindre R est régulière et assez profonde. Cet état persiste plus ou moins suivant la bonne qualité des appareils.

Le relais se règle d'après le courant du poste correspondant.

On fait produire à l'extrémité de la ligne une série d'interruptions rapides, et, en avançant ou reculant les deux vis D et D', en tendant ou détendant le ressort de rappel *fF*, on parvient aisément à obtenir une marche régulière de la palette et à faire en sorte que sa tige vienne à chaque oscillation toucher la vis D.

Nous avons indiqué dans les chapitres précédents, les conditions que doivent remplir les deux piles qu'on emploie pour envoyer le courant sur la ligne et faire marcher le levier de l'appareil à signaux.

Dans les postes qui contiennent plusieurs appareils Morse, chaque récepteur doit avoir une pile locale indépendante.

Quand la tige de la palette du relais touche la vis D et que le levier n'est pas attiré, on en conclut que la pile locale ne fournit aucun courant, ou que l'un des fils qui forment le circuit de cette pile est rompu. A l'aide de quelques expériences faciles à concevoir on trouve promptement la cause du dérangement.

125. **Alphabet.** — Les signaux marqués sur le papier sont des traits dont la longueur est proportionnelle à la durée du passage du courant.

On aurait pu faire varier cette longueur pour obtenir un grand nombre de signaux élémentaires; mais on a préféré n'en avoir que deux, le point formé par un courant d'une durée extrêmement courte, et le trait, par un courant d'une durée un peu plus longue.

Ces deux signes fournissent autant de combinaisons qu'il est nécessaire pour la correspondance.

Il eût été rationnel de choisir les signaux de façon à représenter par les combinaisons les plus simples, les lettres les plus usuelles; la nécessité d'un alphabet unique pour toutes les langues n'a pas permis d'adopter ce système.

Voici le tableau des signaux tel qu'il a été conçu par l'union télégraphique Austro-Allemande, et accepté depuis par toutes les administrations.

LETTRES.

a	· —	*o*	— — —
ä	· — · —	*ö*	— — — ·
b	— · · ·	*p*	· — — ·
c	— · — ·	*q*	— — · —
d	— · ·	*r*	· — ·
e	·	*s*	· · ·
é	· · — · ·	*t*	—
f	· · — ·	*u*	· · —
g	— — ·	*ü*	· · — —
h	· · · ·	*v*	· · · —
i	· ·	*w*	· — —
j	· — — —	*x*	— · · —
k	— · —	*y*	— · — —
l	· — · ·	*z*	— — · ·
m	— —	*ch*	— — — —
n	— ·		

PONCTUATION.

Point	.	· · · · · ·
Point-virgule	;	— · — · — ·
Virgule	,	· — · — · —
Deux points	:	— — — · · ·
Point interrog.	?	· · — — · ·
Point alinéa	.	· — · — · ·
Point exclamatif	!	— — · · — —
Trait d'union	-	— · · · · —
Apostrophe	'	· — — — — ·
Barre de division	°/o	— — — — — —

CHIFFRES [1].

1 · — — — —	6 — · · · ·
2 · · — — —	7 — — · · ·
3 · · · — —	8 — — — · ·
4 · · · · —	9 — — — — ·
5 · · · · ·	0 — — — — —

SIGNAUX RÉGLEMENTAIRES.

Indicatif de dépêche — · — · — · —
Réception ou compris · · · — ·
(?) ou répétez · · — — · ·
Correction ou pas compris · · · · · · · · · · · ·
Final · — · — · — ·
Attente · — · · ·
Télégraphe · · · — · · ·

Les lettres doivent être séparées les unes des autres par des espaces blancs et les mots par des intervalles un peu plus grands.

Exemple : *Comment recevez-vous*

— · — ·   — — —   — —   — —
C   *o*   *m*   *m*

·   — ·   —   · — ·   ·
e   *n*   *t*   *r*   *e*

— · — ·   ·   · · · —   ·   — — · ·
c   *e*   *v*   *e*   *z*

· · · —   — — —   · · —   · · ·
v   *o*   *u*   *s*

· · — — · ·
?

1. On peut remarquer qu'aucune lettre n'est formée de plus de quatre signaux. Tous les chiffres, au contraire, en ont cinq, et leur formation régulière les rend faciles à retenir.

126 **Transmission.** — La manipulation exige une certaine habitude, parce qu'il faut une grande régularité dans la transmission pour produire à l'extrémité de la ligne des signaux bien distincts.

Pour un point, on appuie sur la poignée du levier et on lève rapidement la main ; pour un trait, on presse pendant un instant.

Nous extrayons de l'instruction à l'usage des télégraphistes de la Suisse le passage suivant qui fera bien comprendre la marche à suivre pour arriver à une bonne transmission :

« Pour bien apprendre le jeu du levier-clef (levier du manipulateur), il est nécessaire de s'exercer à l'abaisser en mesure. Pour cela on fera bien d'employer la manière suivante :

« On frappe sur la table avec le bout du grand doigt ou de l'index de la main droite ; les coups doivent se répéter en temps égaux. Pour les personnes qui n'ont pas cultivé le sentiment du rhythme, il sera utile d'appliquer une montre contre l'oreille et de frapper un coup à chaque oscillation du balancier.

« L'on frappera de deux manières différentes :

1° En retirant le doigt avec rapidité, de sorte qu'il n'appuie sur la table qu'un instant et en ne le relevant que d'un demi-pouce ;

2° En laissant le doigt appuyé sur la table pendant le temps qui sépare deux coups de première espèce et en l'élevant pendant un temps égal.

« On mesure chaque battement de première sorte par la syllabe *di*, et le battement doit toujours se faire en prononçant la syllabe.

« Dans les mêmes intervalles de temps où l'on prononçait les *di di di*, l'on prononcera maintenant les syllabes *do-o*. En prononçant *do*, on pose le doigt sur la table ; en prononçant *o*, l'on retire le doigt pour le reposer sur la table au second signe.

« Les battements que l'on fait en prononçant les *di*, produiraient des points, et ceux que l'on fait en prononçant *do-o*, donneraient des traits si l'on avait appuyé le doigt sur le levier qui met en mouvement l'appareil à écrire de Morse ; mais comme les points et les distances qui les séparent, ainsi que les traits et leurs intervalles ne deviennent réguliers que si les mouvements du doigt

9

le sont aussi, on peut apprendre à faire le service du télégraphe sans appareils et seulement en s'exerçant à frapper de la manière ci-dessus indiquée.

« Il faudra ensuite s'exercer à donner un trait et deux points, puis deux points et un trait, et ainsi de suite, en prononçant toujours pendant le mouvement du doigt les syllabes *di di*, et *do-o*, et chaque syllabe doit se prononcer à égale distance de la suivante. Les distances de *do* à *o*, de *o* à *di*, sont donc toujours égales, et le doigt sera, comme nous l'avons déjà dit, appuyé sur la table de *do* jusqu'à *o* et élevé de *o* jusqu'à la syllabe suivante.

« Pour le commencement, les mouvements se suivront à de plus grands intervalles et l'on en augmentera la rapidité à mesure que l'on acquerra de l'habitude.

« On s'exercera aussi à produire d'autres combinaisons, par exemple :

do-o, di, di, di; do-o, di, di, di
ou *do-o, do-o, di, di, di, di*
ou *di, do-o, do-o, di; di, do-o, do-o, di*, etc.

« L'on voit qu'il s'écoule des intervalles de temps égaux entre deux points, d'un point au trait suivant, du commencement du trait à la fin, et de la fin du trait au premier signe suivant. Chaque point ne demande donc qu'un seul intervalle de temps, tandis que le trait en demande deux.

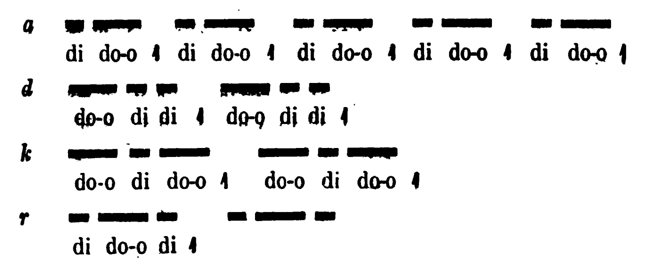
« Quand deux groupes se suivent, il faut les séparer par une pause. Les pauses ne peuvent pas avoir une durée moindre qu'un intervalle de temps.

« On s'exercera à reproduire les différents groupes, en laissant toujours entre eux un intervalle de temps qui serve de pause. Par exemple, au lieu d'un signe de plus pour indiquer la pause, on prononcera le nombre *un*.

di di un *di di* un *di di*, etc....

et le doigt restera élevé pendant que l'on prononcera *un*.

« On s'exerce d'abord pour chaque lettre à part, en la répétant avec une pause entre chaque répétition. Par exemple :



« Dans ces exercice, le doigt restera élevé aussi longtemps à la syllabe *un* qu'à la syllabe *o*.

« Quand on saura par cœur chaque lettre à part, on écrira des syllabes composées de deux lettres, en séparant les lettres et les syllabes par une pause. Puis on s'exercera de même à écrire des syllabes de trois lettres. Pour rendre ces exercices plus faciles, on fera des groupes de lettres dont les signes soient symétriques. Par exemple :

eish

tmoch

auv

awj

ndb

kr

« On formera enfin des mots en passant des plus courts aux plus compliqués.

« Il faudra aussi s'exercer à lire cette écriture en signes, en prononçant les syllabes *di* et *do-o* conformément au rhythme et en faisant une pause entre les lettres.

« Comme exercice, il faudra lire souvent du texte imprimé dans cet alphabet.

« Il faudra aussi transcrire les caractères ordinaires en signes télégraphiques et relire cette dernière écriture en lettres. C'est la manière la plus simple pour apprendre à lire promptement les signes télégraphiques. Il faut plus d'habitude pour lire ces

signes en mots que pour lire du texte imprimé dans ces signes.

« On peut donc apprendre sans appareils à faire les mouvements du doigt pour donner les signes, à connaître les groupes qui représentent les lettres, à écrire du texte ordinaire en signes et à lire les signes en mots.

« Lors de la lecture et de la prononciation des lettres il faut soigneusement observer les pauses qui séparent les mots.

« Les signes appartenant à un groupe ou à une lettre, peuvent être produits au levier-clef aussi vite qu'ils sont prononcés.

« Lorsque, par les exercices précédents, l'on a acquis assez d'habitude pour écrire distinctement douze ou quatorze mots dans l'espace d'une minute ou pour en lire un nombre double, on commence à s'exercer sur les appareils, ce qui ne présentera plus de difficultés et s'apprendra en peu de leçons. Ce qui est essentiel, c'est que le levier-clef n'ait qu'un jéu très-limité, afin que les *do-o, do-o, do-o* ou les battements du levier-clef quand il s'abaisse ou se relève, se suivent à des intervalles égaux.

« Le levier-clef fait un bruit semblable à *tri-tri-tri* pour les points et semblable à *do-o* pour les traits, ce qui rend facile de distinguer par l'ouïe les traits des points.

« Avec de l'attention, on parviendra aussi à les distinguer, soit à la marche du relais, soit à la marche du levier de l'appareil Morse, et l'on pourra comprendre, seulement par la marche de l'appareil, la correspondance donnée.

« Il faut donc s'exercer dans ce but, car il est très-utile au service de reconnaître par l'ouïe les signes les plus usuels, comme l'appel de la station et les mots *ouverts, compris, répéter, empêché, dérangé*. De même il faut s'exercer à reconnaître les lettres à la simple vue des mouvements du levier du relais. On distinguera facilement les points des traits, en ce que pour les points le levier ne s'abaisse qu'un instant et se relève immédiatement, tandis que pour les traits il reste abaissé pendant un temps entier.

« La faculté de pouvoir lire la dépêche d'après les mouvements du relais rend, dans bien des cas, de grands services. Si, par exemple, des pertes survenues dans le courant le rendaient trop

faible pour qu'il pût fermer le circuit de la pile locale et mettre en mouvement l'appareil à écrire, il y aurait encore possibilité de lire la dépêche par les mouvements du relais, quelque faibles qu'ils fussent, pourvu toutefois que ces mouvements ne se succédassent pas trop rapidement. »

La lecture se fait sur la bande de papier à mesure qu'elle se déroule.

Lorsque quelques signaux sont inintelligibles on interrompt le poste qui transmet en lui passant le signal ▬ ▬▬▬ ▬ qu'on fait suivre du dernier mot compris.

Remarquons ici que, pour l'appareil Morse, les signes sont entièrement indépendants les uns des autres, et qu'une erreur dans la transmission n'influe pas sur les signaux suivants comme pour les deux appareils précédents.

Les bandes de papier sur lesquelles s'inscrivent les dépêches sont enroulées sur des rouets destinés à cet usage et conservées avec soin pour servir au contrôle.

127. **Translation.** — Nous avons dit que les appareils Morse peuvent être employés dans les postes intermédiaires comme translateurs. Cette translation se fait au moyen du levier qui imprime les signaux.

A cet effet, l'une des deux plaques de cuivre SS (planche 4) qui supporte le mouvement d'horlogerie est reliée en un certain point W par une vis qui traverse la planchette et un fil métallique à une borne extérieure M à laquelle communique ainsi toute la masse de l'appareil et par suite le levier et le bras YY'.

La colonne X'X'', contre laquelle vient buter le levier, est isolée au moyen d'un disque d'ivoire ; elle communique avec la borne P à laquelle on attache le pôle de la pile qui sert à envoyer le courant sur la ligne.

Enfin une dernière borne I est reliée à la vis, dite de repos, *y* que le levier touche lorsque le courant ne passe pas ; la pièce métallique qui porte cette vis est isolée par une plaque d'ivoire.

Nous avons expliqué, nº 74, les principes de la translation.

D et D' (*fig.* 82) sont les manipulateurs ; B et B' les récepteurs ; E et E' les commutateurs de pile ; enfin G et G' deux commu-

tateurs au moyen desquels on peut : 1° recevoir dans les deux appareils séparément, en plaçant les ressorts sur les touches *a* et *a′* ;

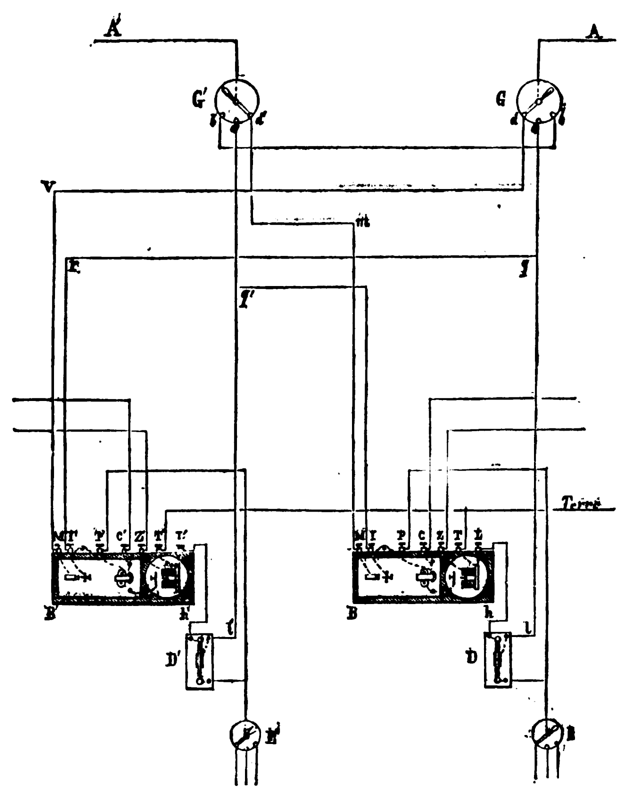


Fig. 82.

2° établir la communication directe entre A et A′, en plaçant les ressorts sur les touches *b* et *b′* ; 3° établir la translation en plaçant les ressorts sur les touches *d* et *d′*.

Pour la translation, la ligne A est en communication avec le

bouton M′ de l'appareil B′ et la ligne A′ avec le bouton semblable de l'appareil B.

Supposons que, la translation étant établie, le courant soit envoyé par le poste correspondant A ; ce courant arrive au bouton M′ de l'appareil B′, passe dans la plaque de cuivre, dans le levier et arrive au bouton I′ par la vis de repos contre laquelle appuie le bras YY′ (planche 4, *fig.* 1); du bouton I′, il passe au manipulateur D par le fil de communication I′*rql* et fait marcher le relais de l'appareil B.

Le levier de B s'abaisse et vient toucher la colonne qui communique à la pile ; le courant du poste translateur se rend par l'intermédiaire de ce levier au bouton M, et enfin sur la ligne A′ par le fil M*md*′.

La marche du courant est analogue quand le poste A′ transmet.

128. — Le poste que nous considérons, non-seulement reçoit les transmissions des deux correspondants dans ses appareils, mais, tout en restant en translation, peut communiquer avec eux, car en abaissant le levier de l'un des manipulateurs, D par exemple, on fait communiquer la pile avec la ligne A par l'intermédiaire du fil *lqr*I′, de la vis de repos et du levier de B′, enfin du fil M′V*d*.

On peut également correspondre avec la ligne A en faisant mouvoir à la main le levier de l'appareil B′ ou la palette du relais de cet appareil, et avec A′ en agissant de même sur l'appareil B.

129. — La disposition des fils est quelquefois un peu différente. Ainsi, au lieu de faire, comme dans la figure 82, arriver les fils qui partent des boutons I et I′ en *q* et *q*′, on aurait pu relier directement I avec le bouton L′ de l'appareil B′ et I′ avec L. Le courant dans ce cas ne traverserait pas les deux manipulateurs D et D′ pendant la translation.

On peut aussi établir les commutateurs G et G′ sur le parcours des fils *h*L et *h*′L′ en modifiant les autres communications.

Quand les ressorts des commutateurs G et G′ sont placés sur les touches *a* et *a*′ le courant de la pile E est envoyé sur la ligne A, et celui de la pile E′ sur la ligne A′ ; pendant la translation le contraire a lieu, ce qui, dans certains cas, peut être un inconvénient, car si le nombre d'éléments n'est pas le même, il se produit des

perturbations quand le poste intermédiaire transmet à l'aide de ses manipulateurs. Pour y remédier, on fait ordinairement communiquer le bouton P de l'appareil B avec le commutateur E′ et le bouton P′ avec le commutateur E.

130. — Un poste qui fonctionne en translation doit être surveillé avec la plus grande attention, car les deux correspondants extrêmes ne peuvent s'entendre qu'à la condition que les appareils intermédiaires marchent bien régulièrement. Il est donc nécessaire de régler les ressorts de rappel des relais pendant la transmission suivant les variations d'intensité que peut éprouver le courant.

En outre, on voit que le courant passant des bras YY′ (*pl. 4, fig. 1*) à la vis *y* de la colonne de repos, il doit toujours exister un très-bon contact entre ces deux pièces. On y arrive en nettoyant les surfaces et en tendant suffisamment le ressort de rappel Z′Z″; la pile locale doit avoir une assez grande énergie pour vaincre cette résistance.

Si, par exemple, pour l'appareil B (*fig.* 82), le bras du levier ne touchait pas la vis de la colonne de repos, le courant de A ferait marcher le récepteur B et le courant passerait sur la ligne A′, mais le courant de A′ ne pourrait parvenir au récepteur B′.

Il faut en outre, lorsque le levier s'abaisse, que son extrémité appuie fortement sur la colonne X′X″.

On peut s'assurer des communications et des contacts au poste intermédiaire, en transmettant avec les deux correspondants non avec les manipulateurs, mais à l'aide des palettes des deux relais.

Si les expériences réussissent, c'est-à-dire si l'on transmet bien des deux côtés et si l'on reçoit également bien, on peut être assuré que la translation est bien établie, car dans les quatre opérations d'émission et de réception du courant dans les deux directions, tous les fils de communication sont employés.

131. — Quand, au lieu de deux lignes A et A′ aboutissant à un poste, il en existe trois A, A′, A″, on peut disposer les fils de façon à pouvoir mettre deux quelconques de ces lignes en translation.

Une des dispositions qui peuvent être adoptées est représentée dans la figure 83.

Les trois lignes aboutissent à trois commutateurs G, G′ et G″.

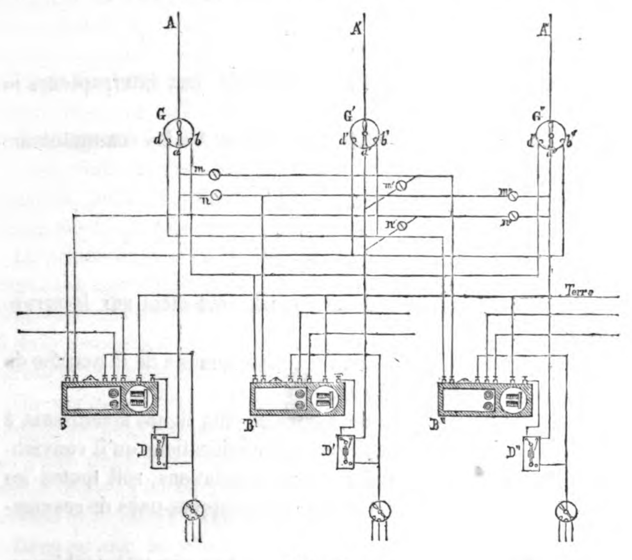


Fig. 83.

m, *m′*, *m″*, *n*, *n′*, *n″* sont des interrupteurs placés sur le parcours des fils de communication.

1° Pour recevoir avec les trois appareils séparément, on place les trois commutateurs sur les boutons *a*, *a′*, *a″* et on rompt la communication aux six interrupteurs.

2° Pour la translation des lignes A et A′ on met le commutateur G sur le contact *b*,

G′ sur *d′*

G″ sur *a″*

On établit la communication aux interrupteurs *n* et *n′*, on la rompt aux quatre autres.

3° Pour la translation des deux lignes A et A″ on place les commutateurs,

G sur le contact *d*
G′ sur *a*′
G″ sur *b*″

On établit la communication seulement aux interrupteurs *m* et *n*″.

4° Enfin pour la translation entre A′ et A″ les commutateurs seront placés :

G sur *a*
G′ sur *b*′
G″ sur *d*″

Et les communications seront établies seulement aux interrupteurs *m*′ et *m*″.

Il suffit de suivre les fils pour se rendre compte de la marche du courant dans ces différents cas.

On peut de même imaginer quatre ou cinq lignes aboutissant à un poste et tracer sur le papier les communications qu'il conviendrait d'établir pour obtenir dans les translations, soit toutes les combinaisons possibles, soit seulement quelques-unes de ces combinaisons.

Les chances de dérangement, dans les bureaux télégraphiques, augmentent naturellement avec le nombre des fils conducteurs; c'est pourquoi on évite, en général, d'installer la translation pour plusieurs appareils. On se borne, quand trois lignes, par exemple, aboutissent à un poste, à organiser seulement la translation avec deux des appareils, et on fait communiquer au moyen de commutateurs les lignes pour lesquelles on veut avoir la translation avec ces deux appareils.

132. — Avec plusieurs translateurs placés aux différents points d'une ligne, on peut correspondre à des distances presque indéfinies. Les postes extrêmes peuvent envoyer des dépêches simultanément à tous les bureaux intermédiaires, en prévenant d'avance ceux des postes auxquels ils veulent transmettre pour que les employés puissent faire dérouler le papier et recevoir les signaux.

Il existe un inconvénient à avoir sur une ligne un trop grand nombre de translateurs, car si un seul des appareils marche

mal, tout le service est entravé. Il se produit d'ailleurs dans la transmission un retard causé par le temps nécessaire au jeu des appareils, retard qui augmente avec leur nombre. On doit renoncer à établir la translation dans les postes peu importants ou trop rapprochés pour qu'elle soit utile.

133. **Modifications de l'appareil Morse.** — Chaque constructeur se croit obligé d'apporter une modification quelconque aux appareils qu'il est chargé de fournir, aussi existe-t-il pour l'appareil Morse un très-grand nombre de modèles différents.

Le principe est toujours le même, et la plupart de ces modifications sont sans importance, la bonne qualité d'un appareil dépendant bien plus du soin avec lequel il est construit que de la forme et de la disposition des éléments qui le constituent; nous nous bornerons à en indiquer quelques-unes.

On sépare souvent les relais de l'appareil à signaux, et cette disposition nous semble préférable parce qu'elle permet de changer l'une des parties lorsqu'elle est hors de service; de plus, elle met le relais à l'abri des secousses que lui imprime le levier et qui nuisent quelquefois à la transmission.

Dans ce cas, le relais doit avoir à l'extérieur quatre bornes dont deux correspondent au fil de l'électro-aimant, la troisième à la vis placée en face de la palette, et la quatrième à la palette elle-même.

L'appareil écrivant doit en avoir cinq, quatre sont les mêmes que Z, P, M et I (*pl. 4, fig.* 2), la cinquième communiquant au fil de l'électro-aimant doit être reliée à la palette du relais.

En Allemagné. l'électro-aimant du relais est, en général, vertical et la palette horizontale. Le ressort du relais se tend au moyen d'une vis placée à la partie supérieure.

M. Hipp, constructeur des appareils de l'Administration Suisse, donne à ses relais une forme un peu différente ; il divise le ressort de rappel en deux parties séparées par un cadre que traverse la tige de la palette.

L'électro-aimant E (*fig.* 84) est vertical, la palette, *bad*, horizontale repose par un couteau sur une pièce d'acier trempé qui communique à l'appareil écrivant. Sa tige *ad* traverse le cadre *c*

et son extrémité oscille entre les deux vis *e* et *f* dont la supérieure est en communication avec le second pôle de la pile locale.

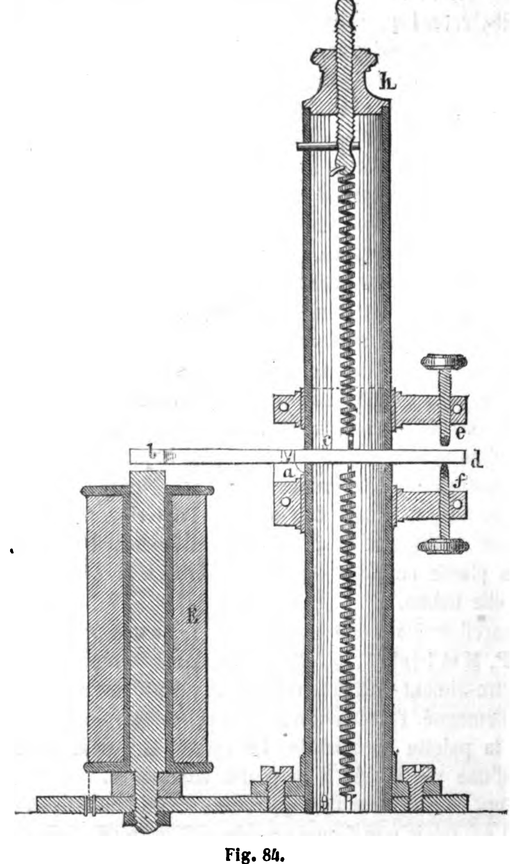


Fig. 84.

Les deux ressorts sont renfermés dans une colonne en cuivre; l'un d'eux se tend avec la vis *h* et l'autre au moyen d'une tige qui peut élever ou abaisser la pièce *g*.

Ces deux ressorts sont fortement tendus; quand ils le sont également, le cadre tiré avec la même force dans les deux sens se trouve en équilibre et n'exerce aucune action sur la tige *ad*.

Si l'on tend un peu le ressort inférieur ou si l'on détend le ressort supérieur, le cadre, tiré de haut en bas, produit sur la tige une pression qu'on rend aussi faible qu'on veut et qui maintient la palette *b* à une petite distance de l'électro-aimant.

Dès que le courant passe, la palette est attirée, sa tige s'élève, touche la vis *e* et ferme le circuit de la pile locale. Quand le courant cesse, le cadre pressant sur sa tige, la palette reprend sa position de repos.

Il est facile de comprendre l'avantage de cette disposition.

Dans les appareils ordinaires le ressort de rappel doit être peu tendu; il agit faiblement sur la palette qu'il ramène assez lentement à sa position, tandis que dans le cas actuel, bien que la plus petite force soit suffisante pour rompre l'équilibre du cadre, quand le courant cesse d'agir, le cadre tend à revenir à sa position avec une vitesse d'autant plus rapide que la tension des deux ressorts est plus considérable.

Le phénomène est analogue au mouvement vibratoire d'une corde fortement tendue; la plus petite force suffit pour écarter un des points de sa position d'équilibre, et il y revient d'autant plus rapidement que la corde est plus tendue.

Ce système permet en outre de placer à l'état de repos la palette à une distance infiniment petite de l'électro-aimant. L'épaisseur d'une feuille de papier est suffisante. Les mouvements peuvent donc être extrêmement rapides et l'intensité du courant très-faible, l'attraction qu'exerce un électro-aimant sur son armature augmentant beaucoup lorsque la distance diminue.

134. — L'appareil écrivant a également subi diverses transformations. La plus importante consiste dans le remplacement du poids qui fait dérouler le papier par un ressort. Voici la forme adoptée pour les derniers appareils que l'Administration Française a fait construire (*fig.* 85).

Le levier BC mobile autour de l'axe Q est relevé, il porte à l'une de ses extrémités C une plaque de fer doux et à l'autre la

pointe sèche V. L'extrémité inférieure du bras DE, traversée par une petite pointe d'acier, se meut entre deux grandes vis F et H;

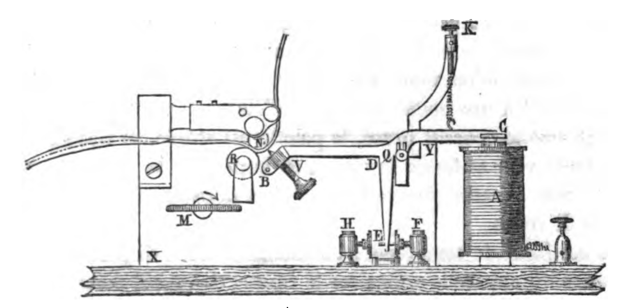


Fig. 85.

dont la seconde remplace la colonne sur laquelle le levier vient buter quand il est attiré.

La pièce qui soutient la vis F communique avec la borne extérieure I, et la pièce qui soutient la vis H avec la borne P (*fig.* 82 et 83).

Le ressort de rappel est vertical et se tend au moyen de la vis K.

Le mouvement d'horlogerie, compris entre la plaque de cuivre XY et une seconde placée en arrière, se compose d'un barillet contenant le grand ressort et de plusieurs roues dont l'une fait tourner le cylindre R et l'autre l'axe d'un volant destiné à rendre le mouvement uniforme. Le papier se passe entre le cylindre R et le cylindre N qui porte la rainure.

Le ressort peut faire dérouler le papier pendant 20 ou 30 minutes. Quand il a épuisé son action on le remonte en tournant avec une clef le carré M qui est le prolongement de l'axe du barillet.

L'emploi des ressorts présente quelques inconvénients; leur force diminue à mesure qu'ils se détendent et le mouvement n'est pas parfaitement uniforme; il arrive souvent qu'ils perdent leur élasticité ou qu'ils se brisent.

135. — Pour rendre la transmission plus régulière et plus facile, on a proposé de remplacer le manipulateur à levier par un

tableau AB (*fig.* 86) sur lequel les signaux sont représentés par des lames de cuivre incrustées dans l'ivoire. Toutes ces lames com-

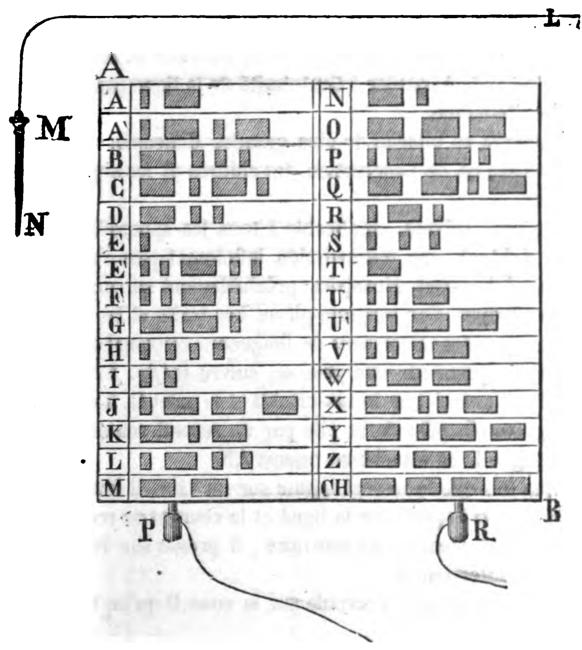


Fig. 86.

muniquent avec un même bouton P auquel on attache le fil de la pile.

Le fil de la ligne L aboutit à un stylet métallique MN qu'on tient à la main.

Si l'on promène l'extrémité de ce stylet sur le tableau toutes les fois qu'on passera sur une des lames la ligne sera en communication avec le pôle de la pile.

A l'état de repos on fixe le stylet dans une borne R qui communique avec le récepteur afin de recevoir les signaux du correspondant.

Quand on veut envoyer une lettre quelconque, on appuie le stylet sur la lettre à transmettre et on le fait glisser rapidement d'une extrémité à l'autre de la ligne qui lui correspond. Il est clair que la succession des passages du courant étant celle qui convient pour la formation de la lettre, les traits et les points tracés sur la bande de papier à l'extrémité de la ligne représenteront la lettre elle-même.

En donnant au tableau de plus grandes dimensions, on peut y placer les signes de ponctuation, les chiffres et les signaux réglementaires.

Le système suivant, applicable à tous les appareils écrivant, permet d'obtenir une transmission infiniment plus rapide.

Les dépêches sont découpées préalablement sur une bande de papier au moyen d'un emporte-pièce. Les traits et les points sont remplacés par des ouvertures de longueurs convenables.

Le papier passe sur une roue en cuivre R (*fig.* 87) contre laquelle il est pressé par le ressort AB et le galet H. La roue communique avec le pôle de la pile par un second ressort EF et le fil de la ligne L est attaché au ressort AB.

Chaque fois que le ressort appuie sur un vide, il fait communiquer le pôle de la pile avec la ligne et le courant se rend au poste correspondant. Quand, au contraire, il presse sur le papier, le courant est interrompu.

La bande de papier s'enroule sur la roue D qu'on tourne avec une manivelle.

Si les ouvertures du papier représentent une dépêche elle sera transmise en entier à l'extrémité de la ligne, quand toute la bande de papier aura passé sur R. On peut faire tourner la roue D très-rapidement, soit à la main, soit au moyen d'un mouvement d'horlogerie, de sorte qu'il n'y a pas pour ainsi dire de limite à la vitesse de transmission.

A l'Exposition universelle de 1855, on a exposé un manipulateur fondé sur le même principe.

Il est formé d'un cylindre qu'on peut tourner au moyen d'une manivelle et qui avance en tournant. Il porte en hélice une série de petites lames égales. Un ressort appuie sur ces lames et com-

munique avec la ligne ; toutes les lames métalliques sont en communication avec la pile. Le circuit est donc fermé pendant tout le temps que dure le mouvement; mais si on enlève quelques lames, il sera interrompu pendant que le ressort pressera sur les parties vides.

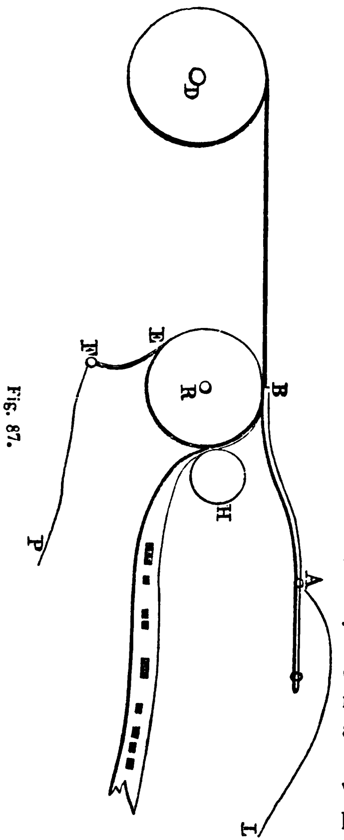


Fig. 87.

On compose les dépêches en reculant les lames de façon à placer sur le passage du ressort celles qui peuvent former les lettres, une lame pour un point, deux pour un trait, un espace vide pour l'intervalle entre deux points d'une même lettre, deux pour séparer les lettres d'un même mot, et ainsi de suite.

Aucun de ces manipulateurs, quelque ingénieux qu'ils soient, n'a été adopté.

136. **Appareil Morse à deux styles.**—Dans l'appareil tel que nous l'avons décrit, on ne fait jamais passer le courant sur la ligne que dans un sens, l'un des pôles de la pile étant invariablement en communication avec la terre.

En Bavière, on utilise l'inversion des pôles de la pile, pour obtenir un plus grand nombre de combinaisons.

On y arrive au moyen de deux manipulateurs juxtaposés de telle façon que les leviers puissent être abaissés successivement avec deux doigts de la même main. L'un sert à envoyer le courant dans un sens et l'autre à l'envoyer en sens contraire. Le relais

est double et chacune des palettes est attirée suivant le sens du courant qui vient de la ligne. L'appareil à signaux porte deux électro-aimants et deux styles qui impriment sur la même baude de papier et correspondent aux deux relais.

D et D' (*fig.* 88) sont les deux manipulateurs qu'on a séparés pour en faire comprendre le jeu.

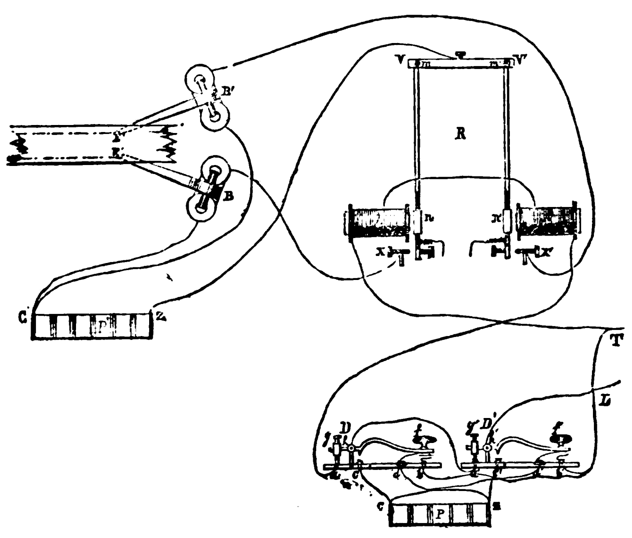


Fig. 88.

A l'état de repos le levier en cuivre *fhg* appuie sur la pointe *a* ; quand on l'abaisse, il établit une double communication, 1° entre le levier et la pointe *c*, 2° entre *d* et *b*, le bouton *d* étant fixé à un ressort qui presse sur une lame d'ivoire au-dessous du levier.

L'autre manipulateur est formé de la même manière. La ligne L aboutit au levier de D', et le bouton *a'* est relié au levier de D. Les pôles de la pile P communiquent comme l'indique la figure à *c, d'* et à *c'*, *d,* le fil de terre T à *b* et *b'*.

Si l'on abaisse le levier de D, le pôle zinc Z de la pile P est mis en communication avec la terre par le petit ressort fixé en *d,* et

l'autre pôle C avec la ligne L par l'intermédiaire du levier *fgh*, du fil *ha'* et du levier D'.

Si au contraire on abaisse le levier de D', le pôle C communique avec la terre et le pôle Z avec la ligne.

R est le double relais. Il comprend deux électro-aimants A et A' et deux palettes, *n* et *n'* mobiles autour de *m* et *m'*, dont les plaques sont aimantées et orientées en sens contraire par rapport aux électro-aimants.

Quand le courant vient de la ligne L, il suit le chemin *h'g'a'hga*, traverse les fils des deux électro-aimants du relais et se rend à la terre en T.

Suivant le sens du courant, l'une ou l'autre des deux palettes *n* ou *n'* est attirée; l'autre est repoussée, mais elle est retenue par la vis qui l'empêche de céder à l'action du ressort de rappel.

L'appareil écrivant comprend les deux électro-aimants B et B' et les deux stylets E et E'. Les fils de ces électro-aimants sont reliés d'une part aux vis X et X' et de l'autre au pôle C' de la pile locale P' dont l'autre pôle communique par la pièce métallique VV' aux deux palettes *mn* et *m'n'*. Lorsque la palette *n* est attirée, le circuit de la pile locale est fermé par l'intermédiaire du fil de l'électro-aimant B et le stylet E laisse une trace sur le papier ; l'autre stylet, au contraire, imprime quand la palette *n'* est attirée. Les signaux qu'emporte le papier sont ainsi écrits sur deux lignes différentes, et le nombre de signaux élémentaires est doublé.

Voici l'alphabet adopté pour la correspondance :

ALPHABET.

LETTRES.	SIGNAUX.	LETTRES.	SIGNAUX.	LETTRES.	SIGNAUX.
a		*k*		*v*	
b		*l*		*w*	
c		*m*		*x*	
ç		*n*		*y*	
d		*o*		*z*	
e		*p*		*ch*	
f		*q*		*und*	
g		*r*		*ist*	
h		*s*		*der*	
i		*t*		*die*	
j		*u*		*das*	

PONCTUATION.

	SIGNAUX.		SIGNAUX.
Point (.)		Apostrophe (')	
Deux-points (:)		Trait d'union (-)	
Virgule (,)		Barre de division (—)	
Point et virgule (;)		Etc.	
Point d'interrog. (?)			

CHIFFRES.

CHIFFRES.	SIGNAUX.	CHIFFRES.	SIGNAUX.
0		5	
1		6	
2		7	
3		8	
4		9	

La manipulation se fait en appuyant l'index ou le médium de la main droite sur l'un des deux leviers placés l'un à côté de l'autre sur la même planchette, suivant la ligne sur laquelle l'impression doit se faire ; elle est plus compliquée que pour l'appareil ordinaire, c'est pourquoi on a renoncé en France, à cette disposition. Il est d'ailleurs toujours préférable de ne pas se servir d'armatures aimantées dans la construction des récepteurs.

137. **Appareil Morse à deux styles pour la translation.** — La translation, établie comme nous l'avons indiqué au n° 127, exige deux appareils distincts, et l'on peut, quand les postes extrêmes n'ont rien à se transmettre, communiquer simultanément avec eux en plaçant convenablement les ressorts des commutateurs. Dans beaucoup de postes, le service est fait par un seul employé qui ne peut travailler en même temps dans les deux directions. On emploie quelquefois dans ce cas un seul récepteur comprenant deux relais et deux styles.

Les deux relais A et A′ (*fig.* 89) sont séparés. Les stylets E et E′ mobiles autour des axes *ab* et *a′b′* sont mis en mouvement par les électro-aimants B et B′ ; ils portent chacun un bras (*voir fig.* 1, *pl.* 4) qui appuie sur une vis de repos qu'on ne peut voir dans la figure, leurs extrémités H et H′ viennent buter sur deux colonnes semblables à XX″.

Quand les électro-aimants E et E′ exercent leur attraction, les signes s'impriment sur la même bande de papier qui se déroule sous l'action d'un poids ou d'un ressort.

Les fils des deux lignes s'attachent aux bornes L et L′ qui communiquent, par les massifs et les axes *ab* et *a′b′*, aux leviers.

Les pôles des piles locales, fixé en Z, C et Z′, C′ sont en communication avec les vis et les palettes des deux relais par l'intermédiaire des fils des électro-aimants B et B′. Les colonnes sur lesquelles frappent les leviers sont reliées au bouton P qui correspond à la pile ; enfin, en T, on attache le fil de terre.

Si le courant arrive par la ligne L, il passe par le levier E′ et la colonne de repos, dans le fil de l'électro-aimant A qu'il aimante, et se rend à la terre. La palette du relais A ferme le circuit de la pile locale ZC et l'électro-aimant B attire le levier dont l'extrémité

H, en frappant sur la colonne, fait communiquer la pile P avec la ligne L′.

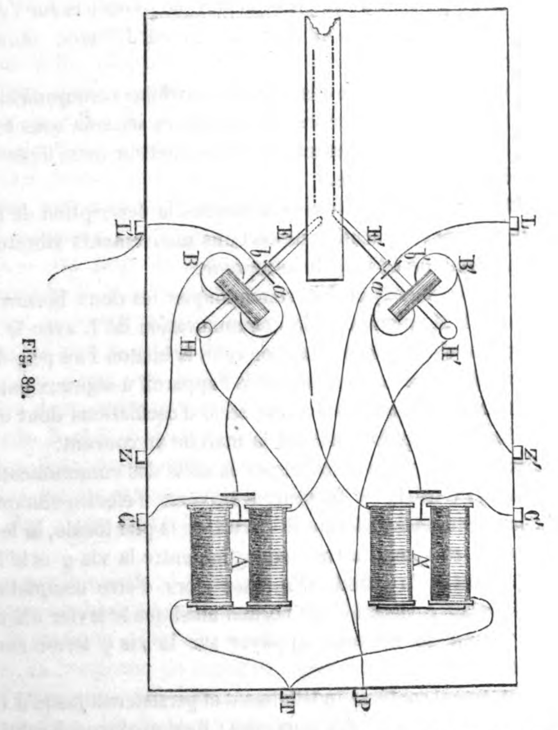


Fig. 89.

En faisant dérouler le papier, on peut suivre les transmissions des deux correspondants. Le levier E imprime les signaux envoyés par la ligne L, et E′ les signaux envoyés par L′.

Comme les deux postes correspondants ne transmettent pas simultanément, on peut n'avoir qu'une seule pile locale.

Avec cet appareil on peut se passer de manipulateur, si les leviers E et E′ sont terminés par deux boutons sur lesquels on puisse appuyer le doigt. Il est clair, en effet, qu'en pressant sur le levier

C on envoie le courant sur la ligne L' et en appuyant sur C' on l'envoie sur la ligne L.

Si l'on veut que le courant qui vient de L ne passe pas sur l'autre ligne, il suffit d'isoler le fil qui aboutit en L' avec un commutateur.

Il serait aisé du reste de disposer de nouvelles communications pour permettre d'employer les deux systèmes séparés sans translation, les signaux s'imprimant simultanément sur deux lignes parallèles de la même bande.

138. **Remarques.** — Nous terminerons la description de l'appareil Morse par l'explication de certains mouvements vibratoires qu'on peut produire à l'aide du recepteur.

Si (*pl. 4 fig. 1 et 2*) on fait communiquer les deux bornes extérieures L et M en enlevant la communication de L avec le manipulateur, et si en même temps on relie le bouton I au pôle de la pile, la palette du relais et le levier de l'appareil à signaux entrent en vibrations et donnent lieu à une série d'oscillations dont on se rend aisément compte en suivant la marche du courant.

Le circuit de la pile est fermé par la série des communications suivantes I*y*YWMLT, et le courant traverse l'électro-aimant du relais; la palette attirée ferme le circuit de la pile locale, le levier OX s'abaisse et rompt la communication entre la vis *y* et le bras YY'. Le circuit de la grande pile cesse alors d'être complet et la palette du relais revient à l'état normal ainsi que le levier *o*X dont le bras venant de nouveau appuyer sur la vis *y* ferme encore le circuit.

Le mouvement continue indéfiniment et persisterait jusqu'à l'entier épuisement de l'une des deux piles; il est analogue à celui des trembleurs sur lesquels nous aurons à revenir.

139. — Lorsque dans l'appareil on détend le ressort de rappel du relais en laissant toutes les communications telles qu'elles sont établies ordinairement, un phénomène analogue se produit, mais il est d'une nature toute différente, car la grande pile n'y joue aucun rôle.

Ces oscillations tiennent à la grande mobilité de la palette du relais et aux vibrations que le choc du levier contre la colonne

X″X′ imprime à la planchette qui supporte tout l'appareil. On voit en effet qu'au moment où le ressort de rappel est assez détendu, la tige de la palette vient appuyer sur la vis D et ferme le circuit de la pile locale ; le levier frappe fortement contre la colonne X′X″ et communique à la palette un petit mouvement vibratoire suffisant pour l'écarter de la vis D et rompre le circuit de cette pile. Le levier reprend sa position et la tige de la palette vient de nouveau toucher la vis D. Ce mouvement persiste jusqu'à ce qu'une cause étrangère vienne l'interrompre un instant. Ces vibrations sont moins fréquentes quand le relais est séparé de l'appareil à signaux.

140. — On peut se demander ce qui arriverait si les deux correspondants d'un poste organisé en translation (*fig.* 82) envoyaient au même moment le courant, ce qu'on peut facilement réaliser en réunissant les deux fils A et A′ et en faisant communiquer l'un d'eux avec le pôle de la pile.

Si les deux courants avaient la même intensité et si les deux appareils B et B′ étaient également sensibles, ils marcheraient tous les deux au moment du passage du courant, et les deux bras des leviers cessant de toucher les colonnes de repos, les circuits des deux courants extérieurs seraient en même temps rompus.

Il se produirait donc dans les deux appareils un mouvement vibratoire semblable à celui du n° 138. Ce cas ne peut se réaliser dans la pratique, l'un des deux leviers s'écarte toujours avant l'autre, de la colonne de repos et interrompt le courant extérieur pour l'autre appareil. Ainsi donc, au moment de l'émission des deux courants, les deux palettes de relais sont attirées, l'un des leviers s'abaisse et reste dans cette position tant que dure le courant, l'autre ne bouge pas.

On peut, en faisant varier la tension des ressorts de rappel, rendre à volonté l'un ou l'autre des appareils plus sensible.

APPAREILS ÉLECTRO-CHIMIQUES.

141. Appareil électro-chimique de M. Bain. — Parmi les différentes substances qui peuvent être employées pour former du papier électro-chimique (n° 74), celle qui convient le mieux est le cyanure jaune de potassium et de fer ou prussiate de potasse, qu'on trouve dans le commerce sous forme de cristaux jaunes. Lorsqu'un papier a été trempé dans une dissolution de ce sel, si on le fait traverser par le courant en faisant communiquer un des côtés avec le pôle négatif de la pile et en appuyant sur l'autre une pointe de fer reliée au pôle positif, il se produit une décomposition du prussiate de potasse. Le fer se substitue au potassium et donne lieu à un nouveau sel qui est le bleu de Prusse [1] ; le point du papier sur lequel appuie la pointe de fer se colore en bleu foncé.

La dissolution doit être en outre un peu acide pour que le papier soit assez bon conducteur.

Voici la préparation indiquée par M. Bain, qui, le premier a eu l'idée de construire un appareil télégraphique fondé sur ce principe : On verse de l'acide nitrique dans une dissolution de prussiate jaune de potasse jusqu'à ce que la couleur devienne vert foncé ; on verse alors de l'acide chlorhydrique qui fait passer la dissolution au blanc, et on y trempe le papier.

On ne peut découper le papier en bande et le faire passer entre deux cylindres, car il doit être employé à l'état humide, très-peu de temps après son immersion dans le liquide, et n'aurait pas une consistance suffisante.

[1] Le cyanure jaune de potassium et de fer (prussiate de potasse) est formé de la manière suivante : $Fe.Cy + 2\,K.Cy + 3\,HO$, Fe designant l'équivalent du fer, K celui du potassium, Cy celui du cyanogène et HO celui de l'eau. Le bleu de Prusse a pour formule $3\,Fe.cy + 2Fe^2.Cy^3$. Quand le courant passe, il décompose donc 3 éléments du prussiate de potasse, rend libres 6 équivalents de potassium qui sont remplacés par 4 équivalents de fer.

Le cyanogène est un composé qui joue le rôle d'un corps simple dans les combinaisons chimiques, il est formé de deux équivalents de carbone et d'un équivalent d'azote $C^2.Az$.

On le place sur un disque de cuivre en communication avec la terre ; une pointe de fer engagée dans un porte-stylet appuie sur le papier et est en communication avec la ligne par l'intermédiaire du manipulateur. Le disque tourne autour de son centre sous l'action d'un mouvement d'horlogerie et le porte-stylet muni d'une vis avance à mesure que le papier tourne pour qu'il ne reste pas constamment sur le même cercle. La pointe décrivant une spirale, les traits ne se superposent pas. Chaque fois que le courant passe, le papier, en tournant, emporte la trace d'un trait dont la longueur correspond au temps pendant lequel le courant a circulé.

Quant au manipulateur, il peut être le même que celui de l'appareil Morse dont l'alphabet peut être également conservé.

Il n'existe, comme on le voit, dans cet appareil, aucun mouvement mécanique et la vitesse de la transmission dépend uniquement de la rapidité avec laquelle les signaux sont produits par celui qui envoie le courant. En faisant usage de l'un des deux manipulateurs indiqués au n° 136, on peut arriver à une transmission qui tient du prodige. On a pu faire passer jusqu'à quinze cents lettres par minute.

Toutefois ces expériences n'ont bien réussi que dans le cabinet. Nous verrons, en effet, dans le chapitre suivant que le courant sur les lignes électriques ne se transmet pas instantanément et qu'il est impossible, lorsque les conducteurs ont une certaine étendue, d'obtenir des interruptions de courant très-rapides. Quand on dépasse une certaine vitesse, les traits ne sont pas bien séparés les uns des autres et la lecture des signaux devient presque impossible.

De plus la décomposition chimique exige une intensité de courant assez grande qu'on obtient difficilement sur les grandes lignes, l'impression est peu accusée et s'efface au bout de peu de temps.

142. Appareil électro-chimique de M. Pouget. — Les deux raisons principales qui ont empêché l'adoption du télégraphe électro-chimique de Bain, sont, d'une part la nécessité d'un courant assez intense pour opérer la décomposition du prussiate de

potasse, et de l'autre l'obligation d'employer le papier à l'état humide et peu de temps après sa préparation.

On peut remédier au premier obstacle en faisant agir sur le papier un courant produit par une pile locale au moyen d'un relais. Sans doute on ne peut plus obtenir une transmission aussi rapide, mais on conçoit qu'elle puisse l'être néanmoins davantage que pour l'appareil Morse ordinaire, car il n'est plus nécessaire de faire mettre en mouvement à chaque oscillation de la palette du relais un levier d'une masse assez considérable.

On a proposé diverses préparations du papier électro-chimique, dans le but de rendre son emploi plus commode; voici celle qui a donné les meilleurs résultats, elle est due à M. Pouget-Maisonneuve, inspecteur des lignes télégraphiques et a valu à son auteur une médaille de première classe à l'Exposition universelle de 1855 : On plonge le papier découpé en bandes dans une dissolution formée de la manière suivante :

Eau.	100	parties
Azotate d'ammoniaque cristallisé	150	id.
Cyanure jaune de potassium et de fer. . . .	5	id.

Le papier ainsi obtenu est suffisamment acide pour être conducteur et pas assez pour altérer les métaux.

Il est un peu humide, mais néanmoins assez consistant pour se dérouler entre deux cylindres sans se rompre. Il peut recevoir des annotations à l'encre.

Il donne, sous l'action du courant, un sel fortement coloré, insoluble et inaltérable qui est le bleu de Prusse.

Il peut se conserver plusieurs mois même pendant l'été sans perdre son humidité. On doit toutefois le mettre à l'abri de l'air dans des terrines de grès.

Il est peu coûteux, et sa préparation, qui n'exige pas des proportions parfaitement exactes, peut être faite dans les postes.

L'azotate d'ammoniaque a pour but unique de conserver au papier son humidité en lui donnant un peu d'acidité.

L'appareil se compose donc d'un relais mis en mouvement

par le courant de la ligne, d'un mécanisme d'horlogerie qui fait dérouler le papier sur un cylindre de cuivre, enfin d'un stylet en fer BD (*fig.* 90), fixé dans un porte-stylet CE, qui presse sur

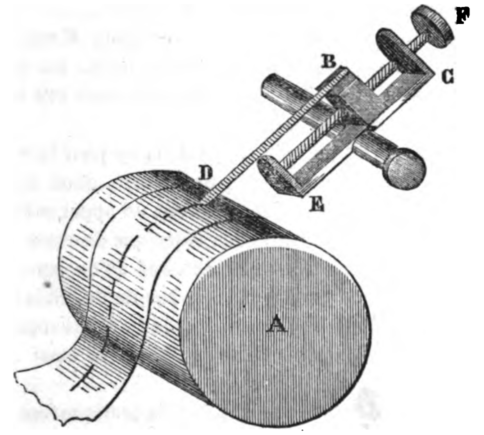


Fig. 90.

le papier. Le cylindre A est en communication avec le pôle négatif de la pile locale. Le porte-stylet communique avec la palette du relais, et la vis, que vient toucher sa tige quand le courant circule autour de l'électro-aimant, est reliée au pôle positif.

Le manipulateur est le même que celui de l'appareil Morse. Le courant qui vient du poste correspondant traverse ce manipulateur et se rend à la terre après avoir aimanté l'électro-aimant du relais. La palette attirée ferme le circuit de la pile locale et l'impression se fait sur la bande de papier.

La pointe de fer du stylet BD s'use assez rapidement; on peut l'avancer au moyen de la vis F.

La résistance qu'offre le papier au passage du courant varie avec son état d'humidité; elle est assez considérable, aussi la pile locale ne doit-elle pas être établie dans les mêmes conditions que pour les récepteurs Morse ordinaires. Elle doit être composée d'une quinzaine environ d'éléments Daniell ordinaires. Par

la même raison, on conçoit qu'une pile locale puisse servir à plusieurs appareils différents. On peut employer, pour pile locale, les premiers éléments de la pile de ligne qui ne fonctionne pas quand le récepteur reçoit le courant du correspondant.

L'appareil ainsi organisé a sur le récepteur Morse ordinaire l'avantage de donner des signaux très-visibles. La lecture ne fatigue nullement et se fait aisément quelle que soit la position de l'appareil par rapport au jour.

Toutefois, remarquons qu'il ne peut servir pour la translation. Il est moins commode que l'appareil Morse dans les bureaux peu occupés où le bruit du levier forme un appel suffisant pour que les employés puissent distinguer à quelque distance des tables de manipulation les signaux réglementaires qu'on leur transmet.

On a proposé, d'ajouter en face de la palette du relais deux nouvelles pointes isolées et de faire opérer la translation par le relais lui-même. Il nous paraît difficile qu'on arrive ainsi à un bon résultat.

Cet appareil a été encore peu employé, la pratique fera connaître les améliorations dont il peut être susceptible et l'usage qu'il convient d'en faire.

La manipulation est identiquement la même que pour l'appareil Morse dont ce système n'est, pour ainsi dire, qu'une heureuse modification.

Quand on remplace la pointe de fer par une pointe de cuivre, la trace est rouge au lieu d'être bleue; elle est moins visible, mais elle s'obtient avec des courants moins intenses.

PETIT RELAIS OU TRANSLATEUR SPÉCIAL.

113. — Il arrive souvent qu'un fil qui relie deux postes très-éloignés, passe dans plusieurs bureaux intermédiaires où la communication directe est établie d'une manière permanente. Lorsque les pertes du courant sur la ligne (*voir* le chapitre suivant) sont considérables, les deux postes extrêmes ne peuvent

correspondre et le service serait interrompu si l'on n'établissait une translation en un ou plusieurs points du parcours.

Comme il n'est pas nécessaire qu'on suive la transmission dans les bureaux intermédiaires, et que la translation doit avoir lieu seulement dans des circonstances exceptionnelles, au lieu d'employer deux récepteurs Morse, on se sert souvent de petits appareils spéciaux qu'on place dans le circuit quand la demande en est faite par l'un des postes extrêmes.

La figure 1 et la figure 2 (*pl.* 6) montrent en projections verticale et horizontale un de ces relais qui n'est autre que la réalisation de la figure 55 dont l'explication a été donnée au n° 73.

EF et E'F' sont les deux électro-aimants fixés sur deux plaques de cuivre séparées HD et H'D'.

I et I' sont les deux palettes mobiles autour des vis *oo* et *o'o'*. Les tiges K et K' se meuvent entre les deux vis M et N, M' et N'.

Les ressorts de rappel *lh* et *l'h'* se tendent et se détendent au moyen des vis P et P'.

Les fils qui entourent les électro-aimants aboutissent aux trois boutons R, V et R'.

Enfin cinq bornes extérieures L, L', C, C' et T sont reliées de la manière suivante : L et L' aux fils des deux lignes qu'on établit en translation, C et C' au pôle actif de la pile et T au fil de terre.

Les quatre vis N, M, N', M' sont isolées des pièces de cuivre qui les supportent par des disques d'ivoire ; elles correspondent au moyen de petits fils *m*, *n*, *m'*, *n'* à d'autres conducteurs placés sous la planchette et indiqués dans la figure 2 en traits ponctués. Ils font communiquer N avec C, N' avec C' M avec R', M' avec R.

Les deux plaques, et par suite les deux palettes qui leur communiquent par les montants en cuivre et les vis *oo*, *o'o'*, sont reliées aux deux boutons L et L' par les fils LH et L'H'. Enfin V communique avec T.

Si le poste A envoie le courant, il traverse le fil LH, la plaque de cuivre DH, la palette I, la vis M et arrive au bouton R'; il parcourt le fil de l'électro-aimant E'F', et se rend à la terre par VT.

L'électro-aimant E'F' attire alors la palette I' dont la tige vient

toucher la vis N'. Le courant passe sur la ligne A' par l'intermédiaire de la palette I', des vis qui la soutiennent, de la plaque H'D' et du fil H'L'.

Quand le poste correspondant A' envoie le courant, la palette I est attirée et le courant du bureau intermédiaire se rend sur la ligne A.

Ce relais se règle comme tous les appareils en donnant plus ou moins de jeu aux tiges des palettes entre les vis N, M, N', M', et en tendant les ressorts de rappel suivant la force du courant extérieur.

Les parties importantes à surveiller sont évidemment les contacts des tiges des palettes avec les grandes vis.

On a placé deux boutons pour la pile, C et C', afin que, si l'éloignement des postes correspondants n'est pas le même, on puisse employer deux piles de force différente.

En faisant mouvoir à la main la palette I, on envoie le courant sur la ligne A, et en faisant mouvoir I', on envoie le courant sur A'.

La translation opérée à l'aide de cet appareil est moins sûre que lorsqu'elle a lieu à l'aide de deux récepteurs Morse ordinaires; le courant de la ligne qui aimante directement EF et E'F' a souvent une intensité très-faible, et les ressorts de rappel devant être peu tendus, les contacts des palettes et des vis N, M, N', M' ne sont pas parfaits. On lui ajoute quelquefois deux relais qui reçoivent le courant extérieur et ferment le circuit d'une pile locale dont le courant traverse les électro aimants EF et E'F'.

L'appareil, à la forme près, est le même que celui qui est représenté dans la figure 89; les deux styles sont supprimés ainsi que les mouvements d'horlogerie. Il est moins commode, car il ne peut servir comme l'autre pour la transmission à un moment donné.

SONNERIES.

144. — La plupart des stations télégraphiques sont munies de sonneries qui permettent aux correspondants d'appeler l'employé lorsqu'il est à quelque distance du bureau ou de l'éveiller pendant

la nuit. Leur usage est surtout indispensable dans les postes de chemins de fer desservis souvent par des agents pour lesquels la manipulation des appareils télégraphiques n'est qu'un service secondaire.

Les sonneries sont formées d'un mouvement d'horlogerie dont une roue, arrêtée par la palette d'un électro-aimant, devient libre au moment où le courant est envoyé par le poste correspondant. La rotation a lieu pendant un temps plus ou moins long et fait osciller un marteau qui frappe sur un timbre.

145. **Sonnerie ordinaire.** — Cette sonnerie, qu'on emploie en France dans les bureaux télégraphiques de l'État, est disposée dans une boîte que traverse le marteau et la tige qui porte le timbre.

Les figures 1, 2 et 3, planche V, dans lesquelles les mêmes lettres désignent les mêmes objets, représentent trois projections verticales dans trois sens différents.

Le mouvement d'horlogerie est compris entre deux plaques de cuivre verticales AB et CD (*fig.* 3). Le barillet F contient le grand ressort qu'on remonte à l'extérieur en tournant l'axe f au moyen d'une clef.

Ce barillet fait tourner les deux axes G et h dont le premier correspond, en avant de la plaque AB (*fig.* 1), à l'excentrique G′ formé d'un cercle coupé par deux parallèles, et le second à un cercle h' qui fait mouvoir le bras du levier HI et imprime un mouvement de va-et-vient à la partie inférieure I du marteau IKL mobile autour de K.

Derrière l'autre plaque CD (*fig.* 2), est l'électro-aimant E dont le fil est atttaché à deux boutons en communication avec deux bornes extérieures; l'une de ces bornes correspond à la ligne par laquelle doit arriver le courant et l'autre à la terre. La palette MM′ est mobile autour de M′. Sa tige $M'n'm$ se meut entre deux vis qui limitent sa course. Le ressort de rappel se tend avec la vis n.

Une petite lame $P_1O'm$, tirée de haut en bas par le ressort OO′, appuie sur la partie supérieure de la tige de la palette; elle descend quand la palette est attirée par l'électro-aimant.

L'axe P qui traverse les deux plaques est fixé invariablement a

la tige $P_1O'm$ et au coin P′ (*fig.* 1); il tourne quand la tige $P_1O'm$ (*fig.* 2) descend.

L'un des côtés du coin P′, à l'état de repos, est vertical et appuie contre le ressort $Qq'q$.

Le cercle *h′*, qui tourne avec l'excentrique H, porte une petite tige *r* qu'il entraîne en tournant dans le sens indiqué par la flèche, et qui vient buter contre la portion *q′q* du ressort *Qqq′* plus large en *q′q* qu'en *Qq′*.

Dans la position de la figure, la tige *r* étant arrêtée, la rotation des axes *h* et G ne peut avoir lieu. Lorsque le courant arrive par une des bornes extérieures en traversant le fil de l'électro-aimant, la palette M′M est attirée, la tige $M'n'm$ s'écarte un peu et la lame $P_1O'm$, descendant sous l'action du ressort O′O, fait tourner un peu l'axe P. Le coin P′ s'incline sur la gauche et écarte le ressort *qq′*Q. La tige *r* n'est plus arrêtée et la roue *h′* tourne ainsi que l'excentrique G′, dont la partie courbe s'engage sur le ressort $Qq'q$ et le maintient écarté pendant tout le temps qu'il met à faire un demi-tour. Pendant cette rotation, l'excentrique H met en mouvement le bras du levier HI et le marteau qui vient frapper sur le timbre. Comme le coin revient à sa position verticale, on voit que le ressort, dès qu'il cesse d'être pressé par la partie curviligne de G′, arrête de nouveau la tige *r* et interrompt le mouvement du marteau.

Il reste à indiquer comment le coin revient à la position verticale. Son axe P porte une tige qu'on voit dans la figure 3 entre la plaque de cuivre CD et la grande roue dont l'axe est G. Deux pointes sont fixées aux extrémités d'un diamètre de cette roue, et lorsqu'elle tourne, ces pointes pressent la tige, font tourner l'axe P, qui relève la lame $P_1o'm$ et le coin P.

Si le courant a cessé de passer, la palette est revenue à sa position, la lame P*m* s'appuie de nouveau sur la partie supérieure de la palette $M'n'm$ et le mouvement est arrêté.

Si, au contraire, le courant passait encore, la tige s'abaisserait de nouveau et le jeu de la sonnerie continuerait.

Ainsi quand on produit une seule émission de courant, la sonnerie marche tout le temps que la roue G met à faire un demi-tour.

Il existe souvent plusieurs sonneries dans les postes et les employés ne sont pas toujours présents quand elles fonctionnent ; il importe qu'à leur retour ils puissent connaître de quel côté ils ont été attaqués.

Dans ce but on a placé un disque sur lequel est écrit le mot : *répondez*. La partie qui porte l'inscription est inclinée, et, lorsque la sonnerie fonctionne, elle se relève vivement et vient se placer en face d'une petite fenêtre percée sur la boîte. Voici le détail de cet appendice :

Ce disque est fixé à l'axe *v* au milieu duquel un ressort à boudin *vy* est attaché. Le ressort *vy* tend à faire tourner le disque et à relever l'inscription. Le mouvement de cet axe est arrêté parce qu'il porte une pointe *u* que le ressort recourbé X*x* retient. L'axe *h* est muni d'un petit bras *h''t* (*fig.* 2) ; quand cette roue se met en mouvement, le bras écarte le ressort X*x* qui laisse échapper la pointe *u*, et le disque se relève rapidement. Il se baisse à l'extérieur avec une petite clef.

146. **Sonnerie à trembleur.** — La sonnerie précédente est assez compliquée et d'un prix élevé. Elle doit être remontée lorsque le ressort a épuisé toute son action, ce qui est un inconvénient quand elle doit être mise entre les mains d'agents inférieurs des Compagnies de chemins de fer, tels que gardes, cantonniers, etc.

Voici un nouveau système de sonnerie qui, par sa simplicité, présente de grands avantages :

Soit un électro-aimant AB (*fig.* 91) et une palette CDO, mobile autour du point O, dont la tige touche alternativement les deux vis *m* et *n*.

La tige OD est en communication avec un fil OP, la pointe *m* avec le fil de l'électro-aimant dont l'autre extrémité arrive en Q.

Lorsqu'on place les deux extrémités P et Q dans un circuit électrique, le courant traverse le fil de l'électro-aimant et la palette CD est attirée. La tige, au même instant, s'écarte de la vis *m* et rompt le circuit ; l'électro-aimant cesse d'être aimanté, et la palette, cédant à l'action du ressort de rappel IH, revient à sa position normale. Le circuit est de nouveau fermé et

le mouvement, ayant encore lieu, il se produit une série de vibrations [1].

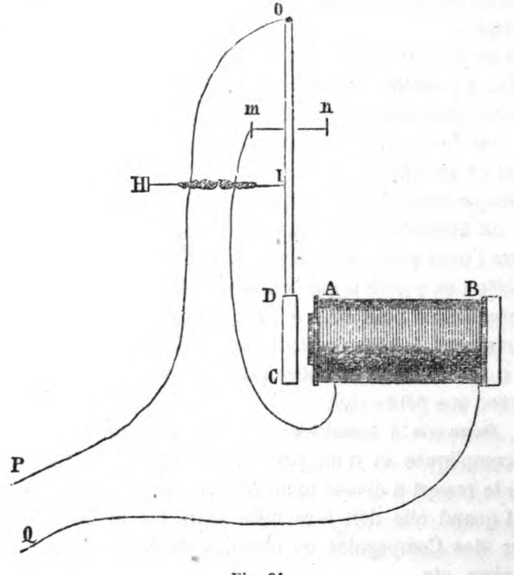


Fig. 91.

Cet appareil se nomme trembleur. L'amplitude des vibrations est extrêmement faible, attendu que le courant passe pendant

1. La palette, par ses vibrations rapides, produit un son dont la hauteur varie avec les dimensions de la tige, la tension du ressort de rappel et l'intensité du courant.

On peut concevoir un instrument de musique formé de plusieurs trembleurs juxtaposés, pouvant donner, quand on les fait successivement traverser par le courant, les différentes notes de la gamme.

Un seul trembleur, dont on fait varier à volonté la tension du ressort de rappel, peut même suffire pour produire un air.

Cet appareil peut encore servir à déterminer combien de fois le fer doux peut s'aimanter dans un temps donné, car, d'après le son produit par la palette, on connaît le nombre de ses vibrations.

un instant infiniment court autour de l'électro-aimant; mais si l'on ajoute à la vis m un petit ressort qui presse un peu sur la palette au moment où elle s'écarte de la tige, le mouvement devient beaucoup plus sensible.

La sonnerie (*fig.* 3, *pl.* 6) est renfermée dans une boîte au-dessus de laquelle est fixé le timbre T. La palette LN est terminée à la partie supérieure par un petit marteau M. Elle est mobile autour du point K par l'intermédiaire du ressort KL qui l'écarte de l'électro-aimant AA' et remplace le ressort de rappel [1].

Un autre ressort ID appuie sur la tige pendant un instant, quand la palette est attirée par l'électro-aimant. Le point fixe I du ressort ID est relié à la borne extérieure B et le point K, par l'intermédiaire du fil de l'électro-aimant, à la borne C.

Le jeu de la sonnerie se produit comme nous l'avons indiqué plus haut. Pendant tout le temps que le courant vient de la ligne, le marteau frappe une série continue de coups sur le timbre. Il produit une sorte de roulement qui dure tant que la borne B est en communication avec la pile.

On peut se servir de cet instrument pour suivre les dépêches, d'après l'alphabet de l'appareil Morse; car, suivant la longueur du roulement, on distingue aisément les points et les traits.

La force avec laquelle le marteau frappe sur le timbre dépend de l'attraction que l'électro-aimant exerce sur la palette, elle augmente donc avec l'intensité du courant.

147. **Relais de sonnerie.** Dans les postes auxquels plusieurs lignes viennent aboutir, il faut une sonnerie spéciale pour chaque direction, afin qu'on puisse reconnaître le correspondant qui veut transmettre une dépêche.

Une seule sonnerie suffit si l'on place sur le parcours de chacun des fils un relais semblable à celui de l'appareil Morse. Tous ces relais, munis d'un appendice qui indique celui qui a été traversé par le courant, ferment le circuit d'une pile locale et font marcher la même sonnerie.

1. C'est M. Miraud qui a construit les premières sonneries à trembleur.

Ce relais (*fig.* 4, *pl.* 6) comprend un électro-aimant A et une palette qui, à l'état de repos, touche la vis *n* et quand elle est attirée vient toucher la vis *m*. *m* correspond au pôle de la pile locale et la palette à l'autre pôle par l'intermédiaire de l'électro-aimant de la sonnerie.

Quand le courant, venant de la ligne, traverse l'électro-aimant A, la palette attirée fait passer le courant de la pile locale dans la sonnerie et, au même instant, dégage la tige ab qui se relève sous l'action du ressort *d*.

Tous les relais peuvent être disposés dans une même boîte pour occuper moins de place. Une seule pile locale étant nécessaire, toutes les vis telles que *m* communiquent entre elles ainsi que toutes les palettes. Au-dessus de chacun d'eux on inscrit le nom de la station à laquelle il correspond.

Pour les sonneries à trembleur, on doit aussi se servir de relais parce qu'elles exigent un développement de force magnétique assez considérable pour produire un bruit suffisant.

148. — Tels sont les principaux appareils télégraphiques qui ont été employés jusqu'à ce jour en France. Nous ferons connaître dans le dernier chapitre plusieurs autres systèmes ingénieux sans doute, mais que le besoin d'uniformité a dû faire rejeter, leur supériorité est contestable.

L'appareil anglais à aiguille n'a servi que pour les communications entre l'Angleterre et la France dans les premières années qui ont suivi l'établissement du télégraphe sous-marin de Calais à Douvres.

L'appareil à signaux subsiste encore sur quelques lignes, mais il est peu à peu remplacé par l'appareil Morse qui est adopté en principe. Le récepteur électro-chimique de M. Pouget, qui n'en est qu'une modification, ne peut être considéré comme faisant exception.

Les Compagnies de chemins de fer ont conservé l'appareil à cadran plus commode pour leur service, et dans tous les bureaux télégraphiques, placés sur le parcours des lignes ferrées, on a établi des appareils à cadran pour correspondre avec les gares au moyen d'un fil spécial.

Dans un certain nombre de postes intermédiaires, on a disposé de petits relais qui servent à la translation lorsque des circonstances locales ou l'état hygrométrique de l'atmosphère s'opposent à une transmission directe.

Quant aux sonneries, elles servent non-seulement dans les postes des chemins de fer, mais encore dans les bureaux de l'État qui sont ouverts pendant la nuit. Dans la plupart des autres stations, une sonnerie placée dans la chambre du chef de service permet de l'appeler dans des cas urgents. Tous les soirs on met cette sonnerie en communication avec la ligne.

CHAPITRE V.

Perturbations qu'éprouve la transmission sur les lignes électriques.

149. — La transmission sur les lignes électriques n'est pas toujours aussi régulière qu'on pourrait le croire, qu'elle peut l'être, par exemple, dans un cabinet lorsque aucune distance ne sépare les postes qui correspondent. Nous examinerons dans ce chapitre les différentes influences qui peuvent entraver la marche des appareils.

ORAGES.

150. — L'électricité atmosphérique est la cause la plus fréquente des perturbations qu'éprouve la transmission.

Par les temps orageux, on voit les appareils marcher irrégulièrement en accusant le passage de forts courants instantanés, Souvent il se produit dans les postes des étincelles entre les différentes parties métalliques; les aiguilles des galvanomètres se désaimantent quelquefois subitement ; on observe aussi, mais plus rarement, des courants continus assez intenses qui durent un temps plus ou moins long et empêchent tout travail.

La théorie de l'électricité atmosphérique (nº 63) explique assez bien tous ces phénomènes.

Les nuages qui sont au-dessus d'une ligne étant électrisés, les fils conducteurs en communication avec la terre se chargent par influence d'électricité contraire et il s'établit un équilibre électrique entre les nuages, les fils et les corps conducteurs environnants tels que les rails de chemin de fer, la couche terrestre, etc.

Cet état persiste tant qu'aucune des circonstances qui lui ont donné lieu ne change pas. Il ne nuit en rien à la transmission, car le courant électrique parcourt avec la même facilité un conducteur qu'il soit électrisé ou non. Si un nuage vient à se décharger, le fil et tous les corps environnants éprouvent un choc en retour et reviennent à l'état naturel. L'électricité accumulée, qui était neutralisée par le nuage, retourne subitement dans le réservoir commun en suivant toute la ligne, elle traverse les fils des boussoles et des appareils et produit des courants instantanés.

Lorsque la charge électrique du fil est très-considérable, les fils des électro-aimants peuvent être fondus, mais ils le sont en général aux parties extrêmes, et en déroulant quelques tours on peut remettre les appareils en état.

Comme ces fils offrent une grande résistance au passage de l'électricité, le fluide passe souvent, du fil de la ligne ou des parties métalliques du poste qui lui correspondent, aux corps conducteurs voisins qui peuvent être en communication avec la terre; c'est ce qui donne lieu aux étincelles qu'on observe dans les bureaux télégraphiques.

Quelquefois la décharge a lieu entre la ligne électrique et les nuages, ou, en d'autres termes, le tonnerre tombe sur les fils; au lieu de suivre la ligne dans toute sa longueur, le fluide se rend ordinairement directement à la terre, qui elle-même est fortement électrisée, en brisant les supports isolants et en laissant sur les poteaux des traces profondes.

Plusieurs poteaux consécutifs sont ordinairement atteints simultanément et il arrive, en général, dans les postes, trop peu d'électricité pour qu'il y ait un danger sérieux.

Enfin on a constaté dans quelques circonstances particulières des décharges électriques entre les fils télégraphiques et les rails de chemin de fer.

151. — Lorsqu'un nuage électrisé fortement s'éloigne au lieu de se décharger, le fil de la ligne revient lentement à l'état naturel et son électricité en s'écoulant aux extrémités produit un courant qui persiste pendant tout le temps que dure l'éloignement du nuage. On voit de ces courants circuler dans les fils pendant

une demi-heure environ et empêcher pendant ce temps toute transmission; toutefois, ils sont le plus ordinairement sans effet sur les appareils parce qu'ils ont peu d'intensité. Le même phénomène a lieu pendant la charge du fil quand le nuage électrisé s'approche de la ligne.

152. — On s'est naturellement beaucoup préoccupé de mettre les postes télégraphiques à l'abri de ces effets qui peuvent avoir des conséquences fâcheuses.

Tous les moyens proposés ou employés reposent sur la propriété de l'électricité, lorsqu'elle a une tension considérable, de s'échapper par les pointes pour passer sur d'autres corps bons conducteurs en communication avec la terre, tandis que l'électricité, produite par les piles dont la tension est extrêmement faible, ne peut passer d'un corps conducteur à un autre que s'il y a contact.

Les paratonnerres se composent donc toujours de deux séries de pointes très-rapprochées dont l'une est parcourue par le courant de la ligne tandis que l'autre communique avec la terre.

Si l'électricité accumulée sur le fil de la ligne devient libre par suite de la décharge d'un nuage, elle peut passer entre ces pointes en produisant des étincelles.

Ces pointes seraient insuffisantes si l'on ne plaçait à la suite, comme nous l'avons indiqué au 3e chapitre, un fil très-fin qui, en se fondant, enlève toute communication entre le fil de la ligne et les appareils.

Le fil fin peut être isolé ou recouvert de soie et serré entre deux plaques métalliques qui établissent, quand la soie se brûle, une communication de la ligne avec la terre.

153. — Les paratonnerres varient beaucoup de forme et de dimension; tantôt le courant traverse une tige, munie de pointes, placée au centre d'un cylindre métallique en communication avec la terre; tantôt il traverse une plaque de cuivre garnie de pointes, située en face d'une seconde plaque semblable (*voir* nos 90, 91 et 92); souvent une seule des deux plaques porte des pointes, l'autre présentant une surface unie. Enfin on se borne quelquefois à placer seulement deux pointes qu'on peut rapprocher à l'aide d'une

vis, et l'on a même essayé de placer ces deux pointes dans le vide pour rendre plus facile l'écoulement du fluide.

Il est inutile d'entrer dans les détails de construction de ces différents paratonnerres (ou parafoudres), ils reposent tous sur le même principe et une très-longue expérience pourra seule décider la forme la plus convenable.

Bien que ces paratonnerres réussissent presque toujours à protéger les appareils, il faut se garder de les considérer comme absolument efficaces, et les plus grandes précautions doivent être prises lorsqu'un orage violent se déclare dans le voisinage d'un poste. La plus importante consiste à établir une communication directe de tous les fils de la ligne avec la terre. Cette communication doit être autant que possible établie à l'extérieur du poste.

Quelques substances, telles que l'alcool, l'éther, etc., conduisent assez bien l'électricité, mais seulement quand elle est à l'état statique; on a cru pouvoir utiliser cette propriété pour la construction des paratonnerres. Ainsi, en faisant traverser au courant un fil métallique occupant le centre d'un cylindre rempli d'alcool en communication avec la terre, on espérait que l'électricité devenue libre sur la ligne passerait dans le réservoir commun en traversant l'alcool, sans suivre les fils conducteurs des appareils, mais l'expérience n'a pas réussi.

Outre les paratonnerres placés dans les postes, on dispose souvent à l'extérieur de larges plaques de fonte qui sont traversées par le courant et sont en regard d'autres plaques en communication avec la terre. Le but de ces plaques est le même que celui des paratonnerres, mais on comprend que si elles ont de grandes dimensions, l'électricité qui vient de la ligne et traverse l'une des plaques, agissant par influence sur l'autre, il peut se produire une neutralisation du fluide qui l'empêche de se décharger instantanément dans l'intérieur des postes.

Les effets produits par l'électricité atmosphérique sont extrêmement variables de nature et d'intensité; quelquefois il éclate, entre les pointes des paratonnerres, des étincelles sans que la transmission soit interrompue, tandis que, dans d'autres cas, les appareils indiquent le passage de forts courants, les fils sont

même fondus et les paratonnerres n'indiquent aucune décharge de fluide, bien que toutes les circonstances extérieures paraissent identiques.

Les expériences qu'on peut faire dans les cabinets de physique avec les machines et les batteries électriques s'appliquent à des cas tellement particuliers qu'on ne doit tirer qu'avec la plus grande réserve des conclusions relatives à la télégraphie électrique, des analogies qui existent entre les deux séries de phénomènes.

154. — Dans quelques pays on a cherché à garantir les poteaux en plaçant au-dessus des tiges conductrices en communication avec la terre. Ce système a le grand inconvénient d'occasionner par les temps de pluie des pertes de courant considérables; il protége très-rarement les fils, leur charge électrique, en raison de leur masse, étant toujours plus grande que celle de ces paratonnerres qui ne peuvent avoir de grandes dimensions. La rupture des appareils de suspension a donc également lieu; si les poteaux sont, jusqu'à un certain point, préservés des atteintes du tonnerre, il y a peu d'avantage, car le fluide laisse seulement un sillon plus ou moins profond qui ne nuit pas à leur solidité. Dans des circonstances tout à fait exceptionnelles, les poteaux peuvent être renversés, et les paratonnerres placés au-dessus sont insuffisants pour les protéger.

On a également essayé de placer aux différents points d'une ligne des pointes s'approchant du fil et pouvant opérer sa décharge quand l'électricité qu'il contient devient libre, mais le même motif a dû les faire abandonner.

155. — Lorsque les lignes ont deux fils et qu'elles ont très-peu d'étendue, on peut les mettre à l'abri de l'électricité atmosphérique, en enlevant dans les deux postes correspondants la communication avec le sol et en remplaçant par un fil de la ligne la portion du circuit que représente la terre : les fils conducteurs étant complétement isolés, l'électricité ne peut s'accumuler en face des nuages que dans une très-faible proportion, ce moyen ne pourrait être employé pour les longues lignes, car la charge du fil s'opère lentement par les points de suspension et l'isolement du conducteur pourrait offrir des dangers.

Les lignes souterraines sont également influencées par les orages, mais l'action est beaucoup plus faible que sur les lignes électriques dont les fils sont suspendus dans l'air.

Comme nous l'avons dit plus haut, les aiguilles des galvanomètres sont souvent désaimantées par les décharges d'électricité atmosphérique. Lorsque les recepteurs contiennent des palettes aimantées, ces palettes sont également désaimantées et quelquefois aimantées en sens contraire.

On peut aisément remplacer l'aiguille d'un galvanomètre ou l'aimanter de nouveau ; mais pour les recepteurs l'opération est ordinairement plus délicate, aussi doit-on pour cette raison préférer toujours les appareils dans lesquels n'entrent pas d'aimants fixes.

COURANTS NATURELS.

156. — Les lignes électriques sont parcourues constamment par de faibles courants, indépendants des courants instantanés ou continus que produisent les orages, et dont les causes sont assez diverses et encore peu connues. Ils peuvent provenir, par exemple, de l'accroissement de tension électrique de l'atmosphère qui varie à chaque instant de la journée et peut déterminer dans les fils un mouvement électrique : les différences de température aux divers points d'une ligne peuvent également donner lieu à une petite force électro-motrice; mais la cause la plus générale est sans aucun doute le développement d'électricité produit par l'action chimique qui s'opère au contact des corps plongés en terre destinés à faire communiquer les piles et les appareils avec le réservoir commun.

Pour avoir une bonne communication avec le sol, on place dans un terrain humide une masse de fer d'assez grande dimension : l'eau qui entoure ces électrodes contient toujours quelques sels qui produisent avec le fer des réactions chimiques suffisantes pour développer un courant électrique.

Ces courants sont, en général, très-faibles et sans action sur

les appareils à électro-aimant, on les observe à l'aide de galvanomètres sensibles.

On a fait beaucoup d'expériences sur ces courants et on a cru reconnaître en certains lieux des variations périodiques de sens et d'intensité.

Dans les pays volcaniques ils paraissent avoir une intensité beaucoup plus grande et leur origine est sans doute différente.

Sur les lignes sous-marines ces courants naturels sont extrêmement remarquables ; ils acquièrent à certains moments une grande énergie et produisent sur l'aiguille du galvanomètre des oscillations singulières. On ne peut les attribuer qu'à un mouvement électrique dans la mer dont la cause et la nature sont inconnues. C'est principalement aux changements de temps qu'on les observe ; ils entravent souvent la transmission.

Ainsi entre Calais et Douvres, on observe souvent de ces courants assez forts pour faire dévier de 80° l'aiguille d'une boussole ayant 40 tours de fil recouvert. L'aiguille marche ordinairement d'une extrémité à l'autre du limbe gradué en passant par le zéro; la durée de chacune de ces oscillations est d'environ un quart d'heure ; elles vont en s'affaiblissant et ne cessent entièrement qu'au bout de deux ou trois heures.

Nous ne saurions trop engager les employés à recueillir les faits de ce genre qui peuvent se présenter dans les bureaux télégraphiques, en prenant note de toutes les circonstances accessoires telles que le temps, la température, etc... C'est seulement après un très-grand nombre de résultats qu'on pourra déterminer la véritable cause de ces phénomènes et en tirer des conséquences utiles pour l'avancement de la physique naturelle.

COURANT DE RETOUR.

157. — Si, dans un bureau télégraphique, après avoir fait isoler au poste correspondant le fil conducteur de la ligne, on établit une communication entre ce fil et le pôle de la pile, en mettant le manipulateur sur une position de contact ou d'émis-

sion de courant, et si l'on revient rapidement à la position de réception, l'électro-aimant de l'appareil s'aimante et se désaimante instantanément bien qu'il n'y ait par le fait aucune communication entre le récepteur et la pile.

Ainsi, pour l'appareil à cadran, quand on tourne rapidement la manivelle, la ligne étant isolée à l'extrémité, on voit l'aiguille du récepteur tourner en ne s'arrêtant jamais qu'en face des nombres pairs. L'aiguille de l'appareil français à signaux dans les mêmes circonstances passe par la série des angles de 90° en 90°. Pour l'appareil Morse, si, après avoir appuyé sur la poignée du manipulateur pour envoyer le courant sur la ligne, on revient rapidement à la position normale, la palette du relais est fortement attirée et ferme le circuit de la pile locale; le levier s'abaisse et la pointe sèche marque un point sur le papier. La durée de ce courant étant très-courte, il peut arriver que le circuit de la pile locale ne soit pas fermé assez longtemps pour mettre en mouvement le levier qui imprime les signaux.

Il e quelquefois nécessaire, pour produire ces phénomènes, de rendre les appareils plus sensibles, soit en rapprochant les électro-aimants des palettes, soit en détendant les ressorts de rappel.

Voici l'explication de ces courants qu'on nomme courants de retour :

158. — Quand on met en communication avec deux corps conducteurs isolés les deux pôles d'une pile, ces deux corps se chargent d'électricités contraires, et la tension sur chacun d'eux dépend de la différence de tension que peut produire la pile, ou de la force électro-motrice. Quant à la quantité absolue d'électricité qu'ils contiennent, elle est évidemment la même sur les deux corps et varie avec leurs dimensions.

Lorsqu'on enlève les communications avec la pile, les deux corps restent électrisés; ils se déchargent lentement par l'atmosphère, ou instantanément si on les met en communication avec le réservoir commun.

Quand un des deux pôles de la pile communique avec la terre et l'autre avec un des corps conducteurs, ce dernier s'élec-

trise, et d'après la théorie de la pile, sa tension électrique est double de ce qu'elle était dans le cas précédent puisqu'elle est nulle à l'autre pôle (nº 17).

Supposons-nous maintenant dans un poste télégraphique. Au moment où l'on met le fil de la ligne, isolé à l'extrémité opposée, en communication avec la pile, ce fil se charge d'électricité et il se produit, pendant l'instant très-court qu'il met à s'électriser, un petit courant facile à constater, si l'on place un appareil sensible dans le circuit. On enlève alors la communication avec la pile; le fil électrisé se décharge lentement par les points de suspension ou par son contact avec l'air humide; mais si on établit rapidement une communication entre ce fil et la terre, la décharge s'opère instantanément et quand elle a lieu par l'intermédiaire des appareils, elle produit une aimantation des électro-aimants qui reviennent à l'état naturel aussitôt que le fil est déchargé.

Ce courant de retour est donc d'autant plus fort que les lignes sont plus longues et mieux isolées et qu'on fait passer plus rapidement le manipulateur de la position d'émission à celle de réception.

159. — On observe souvent sur les longues lignes, même lorsqu'elles ne sont pas isolées, à l'extrémité, des courants de retour qui proviennent d'une cause analogue.

Lorsqu'une ligne est électrisée, elle ne se décharge pas instantanément : l'électricité met à s'écouler un temps d'autant plus long que la ligne est plus étendue.

Si donc, après avoir électrisé le conducteur par son contact avec le pôle de la pile, on revient à la position de réception assez rapidement pour que l'électricité du fil n'ait pas eu le temps de s'écouler entièrement par l'autre extrémité, une partie de cette électricité peut revenir au point de départ et produire un courant de retour.

Ce courant de retour que l'on observe seulement sur les lignes d'une grande étendue est toujours plus faible que lorsque l'extrémité est isolée.

Avec un peu d'habitude on peut facilement reconnaître, quand

il y a une interruption dans le service, si elle provient de l'isolement de la ligne au poste correspondant. Dès qu'un courant de retour se manifeste, on est, dans tous les cas, certain qu'il doit y avoir une certaine longueur de la ligne en bon état à partir du point où se fait l'expérience.

160. — Il résulte de ce qui précède, que si l'on envoie pendant un court espace de temps le courant sur la ligne, le fluide ne se transporte pas instantanément à l'extrémité, mais qu'il met un certain temps à s'écouler; il s'étend dans le fil qui n'est complétement déchargé qu'au bout d'un instant.

Si donc on produit une série d'émissions très-rapides de courants, ces différents courants, envoyés successivement, se confondent, et, à l'extrémité de la ligne, les interruptions peuvent ne pas être assez nettes pour que la production des signaux soit bien sensible. Ce fait explique pourquoi la transmission doit être beaucoup plus lente sur les longues lignes que sur celles qui n'ont qu'une faible étendue [1].

On pourrait, par exemple, avec l'appareil français à signaux, sur une ligne d'un kilomètre de longueur, produire cinq à six cents interruptions de courant par minute et l'aiguille du récepteur suivrait parfaitement les mouvements de la manivelle, tandis que sur une ligne de mille kilomètres, en faisant tourner la manivelle du manipulateur avec la même vitesse, l'aiguille s'arrêterait et indiquerait seulement le passage d'un faible courant continu; elle resterait sur une position de contact si le ressort de rappel était convenablement détendu. Pour qu'elle pût tourner en même temps que la manivelle, il ne faudrait produire que cent cinquante interruptions environ de courant par minute.

161. — Tous ces phénomènes se présentent avec une énergie beaucoup plus grande sur les lignes souterraines et surtout sur les lignes sous-marines, ce qui tient à la manière dont elles sont établies.

Les câbles sous-marins sont formés de plusieurs fils de cuivre

1. *Voir* la note 8 à la fin de l'ouvrage.

recouverts de gutta-percha réunis en faisceau ; ils sont, en outre, entourés en hélice de fils de fer destinés à les protéger.

Supposons, en premier lieu, que l'extrémité de la ligne soit isolée.

Lorsque le fil conducteur est électrisé par son contact avec le pôle de la pile, il agit par influence sur l'enveloppe métallique extérieure qui plonge dans l'eau de la mer; cette enveloppe se charge d'électricité contraire et neutralise une partie de celle du fil. L'action est absolument la même que pour les condensateurs et les bouteilles de Leyde (nº 14). Le fil reste donc fortement électrisé lorsqu'on enlève la communication avec la pile, et, comme son isolement est parfait, on peut obtenir même au bout de quelques minutes d'assez fortes étincelles en touchant le fil avec le doigt. Il se produit un fort courant de retour si, après avoir envoyé le courant à l'aide du manipulateur, on revient à une position de réception.

En second lieu, si l'extrémité de la ligne n'est pas isolée, le fil s'électrise encore ainsi que la partie métallique extérieure pendant tout le temps qu'on envoie le courant. Cette électricité, quand on rompt le circuit, met un certain temps à s'écouler, et une assez grande partie passe par le poste qui avait produit la charge du fil, si on le fait assez rapidement communiquer avec le récepteur.

C'est en résumé le même phénomène que pour les longues lignes dont les fils sont en l'air, mais la quantité d'électricité répandue sur le fil est beaucoup plus considérable ainsi que le temps qu'elle met à s'écouler, à cause de l'influence exercée par la partie extérieure du câble. La rapidité de la transmission est pour cette raison beaucoup plus faible que sur les lignes ordinaires.

Pour obtenir des signaux distincts, sur une ligne sous-marine telle que celle de Calais à Douvres, il ne faut pas dépasser 80 à 90 interruptions de courant par minute.

162. Un autre fait extrêmement curieux est le retard qu'éprouve la transmission de l'électricité le long d'un fil conducteur de télégraphe sous-marin.

Lorsqu'on envoie le courant sur une ligne électrique dont les fils sont en l'air, il parvient presque instantanément à l'extrémité tandis qu'il met un temps très-appréciable pour faire un trajet assez court sur une ligne sous-marine. Ainsi pour la ligne de Calais à Douvres, si l'on met, à un instant donné, au poste de Calais, le fil conducteur en communication avec la pile, on peut admettre qu'il met $\frac{1}{20}$ de seconde pour arriver avec une intensité suffisante à la station de Douvres. La vitesse de l'électricité, au lieu d'être de 100,000 kilomètres par seconde, est donc seulement de 560 kilomètres. Ce retard est dû, sans doute, à ce que le fluide qui se répand d'abord dans le fil, est neutralisé par l'enveloppe extérieure; c'est seulement quand la charge électrique est complète qu'il arrive à l'extrémité et que le courant s'établit d'une manière continue.

Les considérations qui précèdent influeront sans doute sur la manière dont les câbles destinés à l'établissement des grandes lignes sous-marines devront être construits, car il pourrait arriver, si l'on n'en tenait aucun compte, que la transmission devînt très-difficile.

163. — Le courant de retour, bien qu'il n'empêche pas la transmission, est souvent assez gênant parce qu'on peut le confondre avec le courant qui vient du poste correspondant.

On a essayé différents moyens pour l'empêcher de faire marcher les appareils. Le plus simple consiste à placer au manipulateur un quatrième bouton relié directement avec la terre et à faire en sorte que le levier communique pendant un instant avec ce bouton quand on passe de la position d'émission à celle de réception. Le fil de la ligne peut ainsi se décharger sans que le fluide traverse le récepteur.

On a aussi quelquefois établi, entre le manipulateur et la ligne, un fil de dérivation en communication avec la terre et offrant au courant une assez grande résistance (3 à 400 kilomètres environ). Une partie du courant, il est vrai, passe par cette dérivation pendant l'émission, mais il conserve néanmoins une inten-

sité suffisante le long du conducteur principal. Quand on cesse d'envoyer le courant, le fil de la ligne se décharge par la dérivation, et ne contient plus de fluide libre au moment où le levier du manipulateur établit la communication avec le récepteur.

Ces deux dispositions, qui réussissent dans quelques cas, sont en général insuffisantes parce que la décharge du fil n'est pas instantanée et que l'électricité ne passe pas entièrement par le second chemin qui lui est présenté.

DÉRIVATIONS ACCIDENTELLES.

164. — Il arrive quelquefois que le fil conducteur d'une ligne électrique communique avec la terre en un ou plusieurs points. Par exemple, lorsque le fil, sans être rompu, traîne sur le sol ou touche un mur humide; lorsqu'à l'entrée d'un tunnel il se forme des incrustations salines qui entourent les supports isolants et s'étendent le long des parois; lorsqu'un fil recouvert de gutta-percha d'une ligne souterraine se dénude, etc.....

Si la communication avec la terre était parfaite, le courant envoyé d'un côté de la ligne passerait presque entièrement par ces points, et il n'en arriverait qu'une quantité infiniment faible à l'autre extrémité. Il n'en est pas ainsi en général; la communication avec la terre offre au courant une assez grande résistance et agit comme si elle était remplacée par un fil conducteur d'une très-grande longueur ou d'une faible section.

Le courant se divise en deux parties, comme nous l'avons vu en étudiant les courants dérivés, l'une suit le conducteur principal et l'autre passe par la dérivation : les intensités sont en raison inverse des résistances.

165. — Prenons pour exemple une ligne AB (*fig.* 92) dont une extrémité A communique avec le pôle de la pile et l'autre B avec le fil de l'électro-aimant E d'un appareil.

Quand il n'y a pas sur la ligne de communication avec la terre, l'intensité du courant est la même en tous les points du conducteur.

S'il y a en N une communication avec la terre, elle produit le même effet qu'un fil NH d'une certaine résistance. L'intensité du

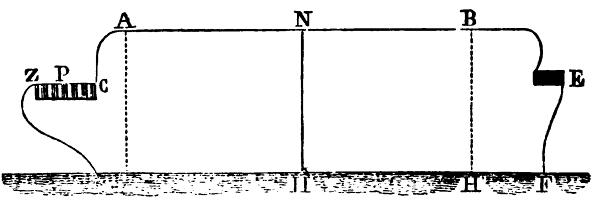


Fig. 92.

courant suivant AN est plus grande que dans le cas précédent, mais une partie du courant passe par NH et l'autre suit le conducteur NBEF.

La somme des deux intensités suivant ces deux conducteurs est égale à l'intensité suivant AN, et elles sont en raison inverse des résistances NH d'une part et de l'autre AB plus le fil de l'électro-aimant E. L'intensité du courant en NBEF est toujours plus faible que lorsqu'il n'y a pas de dérivation en N.

Pour connaître la marche exacte du courant, il faut appliquer les lois sur les courants dérivés. On calcule d'abord la résistance totale de la ligne en tenant compte de la dérivation, et on en conclut l'intensité suivant AN qu'on décompose d'après les résistances connues de NH et de NBEF.

Supposons que la ligne AB ait une longueur de 200 kilomètres, que la dérivation se trouve au milieu N de AB, et qu'on puisse la remplacer par un fil de même nature que celui de la ligne d'une longueur égale à 400 kilomètres.

Les deux conducteurs NH et NBEF peuvent être considérés comme deux fils semblables à celui de la ligne dont les longueurs seraient, pour le premier, 400 kilomètres, et, pour le second, 100 + 200 ou 300 kilomètres, le fil qui entoure l'électro-aimant E ayant une résistance de 200 kilomètres.

Le premier présente la même résistance qu'un fil qui aurait pour longueur 1 kilomètre et dont la section serait $\frac{1}{400}$; le second

peut aussi être remplacé par un fil de 1 kilomètre de longueur ayant pour section $\frac{1}{300}$.

Ces deux fils produisent l'effet d'un seul conducteur de 1 kilomètre de longueur et d'une section égale à la somme de leurs sections, c'est-à-dire égale à $\frac{1}{400}+\frac{1}{300}$ ou $\frac{7}{1200}$ ou enfin $\frac{1}{171}$. Or, un fil dont la section serait $\frac{1}{171}$ et la longueur 1 kilomètre peut se remplacer par un fil de 171 kilomètres et de même nature que celui de la ligne ; la résistance des deux fils réunis NH et NEF est donc égale à 171 kilomètres.

Pour avoir la résistance de tout le circuit, il faut lui ajouter la longueur AN ou 100 kilomètres, ce qui donne 271 kilomètres. On devrait encore ajouter la résistance de la pile, mais nous supposerons qu'elle soit seulement de quelques kilomètres et nous n'en tiendrons pas compte.

L'intensité totale du courant est $\frac{1}{271}$. Il se divise au point N en deux parties dont les intensités sont inversement proportionnelles aux résistances de 300 et de 400 kilomètres. Cette intensité sera les $\frac{3}{7}$ de $\frac{1}{271}$ ou $\frac{3}{1897}$ suivant NH, et les $\frac{4}{7}$ de $\frac{1}{271}$ ou $\frac{4}{1897}$ suivant NBEF ;

$$\text{ou enfin } \frac{1}{632} \text{ suivant NH}$$

$$\text{et } \frac{1}{476} \text{ suivant NBEF.}$$

Ainsi l'intensité du courant qui parcourt le fil de l'électro-aimant E de l'appareil, la seule qu'il soit utile de connaître, est $\frac{1}{476}$.

Lorsqu'il n'y a pas de communication avec la terre en N, la résistance totale est 400 kilomètres et l'intensité égale à $\frac{1}{400}$.

Si on prend le rapport des deux intensités, on voit que dans le cas où nous nous sommes placés, l'intensité du courant qui arrive dans l'appareil ne représente que $\frac{84}{100}$ de ce qu'elle est quand il n'y a pas de dérivation. L'on ne pourra communiquer télégraphiquement entre les deux postes que si on rend l'appareil E plus sensible en détendant le ressort de rappel, ou si on augmente le nombre des éléments de la pile P.

Supposons maintenant qu'au lieu d'être au milieu de la ligne en N, la dérivation se trouve près de l'extrémité en B, et qu'elle ait encore la même résistance, 400 kilomètres.

On calculera de la même manière l'intensité du courant qui traverse l'électro-aimant.

La résistance BEF est égale à 200 kilomètres et la résistance BH' à 400 kilomètres; ces deux conducteurs peuvent se remplacer par deux autres de longueur égale à 1 kilomètre et de sections égales à $\frac{1}{200}$ et $\frac{1}{400}$ ou par un seul dont la section serait $\frac{1}{200}+\frac{1}{400}=\frac{3}{400}=\frac{1}{133}$, ou enfin par un de même section que celui de la ligne et de longueur égale à 133 kilomètres. En ajoutant la longueur AB égale à 200 kilomètres, on obtient pour la résistance totale 333 kilomètres.

L'intensité du courant est donc $\frac{1}{333}$ suivant AB; il se divise en deux parties dont les intensités sont en raison inverse des nombres 200 et 400. L'intensité du courant qui suit le fil BEF est égale à $\frac{4}{6}$ ou $\frac{2}{3}$ de $\frac{1}{333}$; en effectuant le calcul on trouve $\frac{1}{499}$.

L'intensité du courant qui traverse l'électro-aimant est moindre que si la dérivation se trouve au point N ; elle n'est plus que $\frac{80}{100}$ de l'intensité primitive.

Si l'on supposait la communication avec la terre placée auprès

du point A, à 8 ou 10 kilomètres de la pile, par exemple, on trouverait que l'intensité du courant en E est à peu près égale à $\frac{1}{400}$, c'est-à-dire sensiblement la même que dans le cas où il n'y a pas de dérivation.

166. — Ainsi, en résumé, toutes les fois qu'il existe en un point quelconque d'une ligne électriqne une communication avec la terre, l'intensité du courant est affaiblie, mais l'influence de la dérivation varie avec le point de la ligne où elle se trouve, même en admettant qu'elle conserve la même résistance.

Lorsque la dérivation existe auprès du poste qui transmet, elle ne change pas sensiblement l'intensité du courant [1].

On peut, d'après ce qui précède, expliquer un fait assez singulier qui se présente fréquemment dans les bureaux télégraphiques.

Lorsqu'une communication avec la terre s'établit subitement sur une ligne, il peut arriver que l'un des postes reçoive parfaitement les signaux du correspondant, tandis que l'appareil reste immobile à l'autre poste.

Si, en effet (*fig*. 92), la dérivation se trouve près du point A, le courant envoyé par ce poste aura très-sensiblement autour de l'électro-aimant E la même intensité que quand cette dérivation n'existait pas, et le poste B recevra la transmission, tandis que, lorsque le courant partira du poste B, la partie de ce courant qui arrivera en A aura une intensité plus faible, et si l'appareil n'est pas assez sensible, il pourra ne pas fonctionner.

Quand ce cas se présente, la dérivation se trouve plus rapprochée du poste qui ne reçoit pas de son correspondant que de l'autre.

167. — Souvent la dérivation n'empêche pas la transmission, car on peut remédier à la diminution du courant en augmentant le nombre des éléments des deux piles, en détendant les ressorts de rappel et en rapprochant les palettes des électro-aimants dans les appareils ; mais quand la communication avec la terre présente une

1. *Voir* la note 13 à la fin de l'ouvrage.

faible résistance, ces divers moyens sont insuffisants et il ne peut arriver assez de courant dans les deux postes pour faire marcher les récepteurs. L'on doit immédiatement s'occuper de rechercher le point de la ligne où elle existe et envoyer des surveillants pour qu'ils puissent en reconnaître la cause et la faire disparaître.

168. — Lorsque (*fig.* 92) on isole le fil conducteur à l'extrémité de la ligne en B, le courant passe entièrement par la dérivation NH et son intensité est en raison inverse de la résistance AN+NH. Ainsi, dans le cas où $AN = 100^k$ et $AH = 400^k$, l'intensité est $\frac{1}{500}$. On peut, en mettant au point A une boussole dans le circuit, constater cette intensité.

Ordinairement on ignore la résistance de la dérivation et le point de la ligne où elle se trouve, mais à l'aide de quelques expériences il est facile de déterminer ces deux inconnus.

On fait en premier lieu isoler la ligne à l'une de ses extrémités (B), et en envoyant le courant par l'autre (A), on connaît son intensité par la déviation de l'aiguille de la boussole.

D'après cette intensité on peut calculer la résistance AN + NH. Si on a un rhéostat à sa disposition, il suffit de le placer dans le circuit à la place du fil ANH, en faisant aboutir une des extrémités de son fil en A et l'autre au fil de terre en Z : la longueur de fil du rhéostat, qui donne lieu à la même intensité de courant que le conducteur ANH, représente cette résistance.

Quand on n'a pas de rhéostat, on peut avoir approximativement cette résistance par une simple proportion, pourvu que l'on connaisse l'intensité qu'on obtient avec une longueur donnée du fil de la ligne. Si l'on sait, par exemple, que, dans le cas où il n'y a pas de dérivation et où le courant traverse toute la ligne ABEF (dont la résistance est égale à 400 kilomètres), l'aiguille de la boussole donne une déviation de 8°, et si en faisant passer le courant seulement suivant ANH on obtient pour déviation 5°, on pourra établir la proportion :

$$\text{ANH} : 400 :: 8 : 5$$
$$\text{ou ANH} = 640 \text{ kilomètres.}$$

Désignons par a la résistance ainsi trouvée,

$$AN + NH = a.$$

On fait alors la même opération à l'autre poste B ; et l'on trouve la résistance BN + NH que nous désignerons par b.

$$BN + NH = b.$$

On sait de plus que la somme des deux longueurs AN + BN est égale à celle de la ligne, soit l cette longueur

$$AN + BN = l.$$

Au moyen de ces trois équations, on trouve les trois quantités inconnues AN, BN et NH.

Car si on ajoute les deux premières,

$$AN + BN + 2\,NH = a + b$$

$$\text{ou } NH = \frac{a + b - l}{2}.$$

On trouve ainsi

$$AN = \frac{a - b + l}{2}$$

$$\text{et } BN = \frac{b - a + l}{2}$$

qui font connaître le point de la ligne où se trouve la dérivation.

Les expériences ne peuvent jamais être faites avec assez de précision pour qu'on puisse espérer trouver exactement par les formules précédentes le lieu du dérangement, et l'on doit se livrer à de nouvelles recherches lorsqu'il n'est pas visible sur la ligne.

On fait couper le fil conducteur en un point quelconque, et on le fait isoler du côté du poste où se fait l'expérience. On envoie le courant de ce poste sur la ligne en le faisant passer par le galvanomètre. Si l'aiguille dévie, la dérivation existe entre ce point et le poste ; dans le cas contraire, elle doit se trouver au delà. On fait isoler la ligne en un second endroit, et après plusieurs essais semblables on arrive à deux points très-rapprochés entre lesquels a lieu le dérangement.

469. — Nous avons supposé jusqu'ici que sur la ligne il existait

en un seul point une communication avec la terre, mais il arrive souvent qu'il s'en trouve plusieurs NH, N'H', N''H'' (*fig.* 93) qui constituent autant de dérivations.

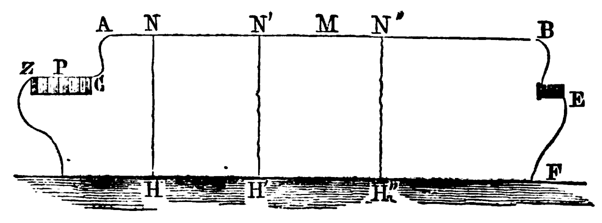


Fig. 93.

Le courant envoyé sur la ligne par l'extrémité A se divise en N en deux parties qui suivent, l'une la dérivation NH; l'autre le conducteur principal; en N' il se divise encore suivant N'H' et N'N'', ainsi de suite; son intensité va donc en décroissant à chaque point où se trouve une dérivation, et il n'en arrive à l'appareil E qu'une fraction qui peut être assez faible si ces diverses dérivations n'ont pas une très-grande résistance.

On ne peut plus, comme dans le cas d'une seule dérivation, trouver directement leurs résistances et les points de la ligne où elles existent; pour les reconnaître, on doit avoir recours à une série d'expériences faites de concert avec les agents chargés de la surveillance.

On fait isoler la ligne à l'une de ses extrémités B, et on envoie le courant par l'autre en plaçant une boussole dans le circuit; on note la déviation de l'aiguille de la boussole.

On fait alors isoler la ligne en un point quelconque, M, et l'on envoie encore le courant. Si la déviation est nulle, il est clair qu'il n'y a aucune communication avec la terre entre A et M.

Si la déviation est la même que celle qu'on avait observée dans la première expérience, toutes les dérivations doivent se trouver entre A et M.

Enfin si la boussole accuse encore un courant, mais d'une intensité moindre que dans le premier cas, on en conclut qu'une partie

des dérivations se trouve entre M et A, et une autre partie au delà de M.

En répétant la même expérience pour plusieurs points on parvient aisément à reconnaître toutes les dérivations.

PERTES DE COURANT LE LONG DES LIGNES.

170. — Les lignes électriques dont les fils sont placés en l'air et fixés à des poteaux au moyen de supports en porcelaine ou en verre, ne sont pas parfaitement isolées et par conséquent le courant n'a pas la même intensité aux différentes parties du conducteur ; elle va en décroissant d'une manière continue depuis l'extrémité de la ligne qui est en communication avec la pile jusqu'à l'autre.

Le résultat est le même que si à chaque point du fil il y avait une dérivation d'une très-grande résistance. A chacun de ces points le courant se divise en deux parties dont l'une suit le conducteur et l'autre, infiniment faible, passe par la dérivation.

Pour apprécier ces pertes de courant, on fait isoler une extrémité de la ligne et on envoie le courant par l'autre en ayant soin de le faire passer par un galvanomètre. Le courant produit est dû seulement aux dérivations et se trouve mesuré par la déviation de l'aiguille du galvanomètre. Le nombre de ces dérivations est d'autant plus grand et par suite le courant est d'autant plus intense que la ligne est plus longue, de sorte qu'il faut toujours tenir compte de la longueur pour laquelle on mesure les pertes.

Ces dérivations résultent du contact de l'atmosphère qui est toujours un peu conductrice quand elle est humide, et surtout de la présence de la couche d'eau qui reste après la pluie sur les poteaux et les supports en porcelaine. Elles dépendent donc du temps et sont extrêmement variables même dans le courant d'une même journée ; ainsi le matin elles peuvent être assez considérables et disparaître dès que la chaleur sèche les poteaux.

L'intensité du courant à l'extrémité de la ligne est seulement

une fraction de son intensité au point de départ et cette fraction est d'autant plus faible que la longueur de la ligne est plus grande et que les pertes sont plus considérables.

Pour pouvoir communiquer on est souvent obligé d'augmenter le nombre des éléments de la pile ; il peut même exister une certaine limite à partir de laquelle il soit impossible d'obtenir une intensité suffisante pour faire fonctionner les appareils. On est alors obligé de fractionner la ligne, soit en transmettant les dépêches à des postes intermédiaires, soit en y disposant des relais.

171. — La plus grande distance à laquelle on peut correspondre varie donc beaucoup avec l'isolement des lignes, et l'on comprend combien il est important qu'il soit aussi parfait que possible. La forme des appareils qui servent à suspendre les fils et leur état de propreté influent beaucoup sur les pertes de courant. Cette partie du service télégraphique est regardée avec raison comme une des plus importantes.

On peut admettre qu'avec les récepteurs employés actuellement, la transmission ne peut avoir lieu à une distance supérieure à 200 kilomètres, si les pertes seules le long de la ligne donnent pour la même distance un courant de 10 à 12 degrés mesuré avec une boussole de sinus ayant douze tours de fils, la pile étant composée de 20 éléments Daniell.

Les premiers appareils employés en France pour suspendre les fils donnaient lieu à des pertes de courant très-considérables ; dès que le temps était un peu humide, il était impossible de transmettre à des distances supérieures à 100 ou 150 kilomètres. Ils ont été remplacés par d'autres qui ont donné des résultats beaucoup plus satisfaisants (*voir* le 7ᵉ chapitre).

Avec ces nouvelles suspensions, lorsque le temps est sec, on peut regarder les pertes comme à peu près nulles ; quand il fait très-humide, elles ne dépassent jamais 5 à 6 degrés pour une longueur de 200 kilomètres.

172. — Dans les stations télégraphiques, on fait ordinairement des expériences journalières sur l'état des lignes. Voici comment se font ces opérations qu'on nomme prendre les déviations :

Deux postes A et B étant aux extrémités d'une ligne, le poste A envoie pendant deux minutes un courant produit par un nombre déterminé d'éléments en le faisant passer par sa boussole : pendant la première minute au poste B on isole le fil et pendant la seconde on le met en communication avec la terre par l'intermédiaire de la boussole. On note les déviations de l'aiguille, ce qui fournit trois nombres a, b et c.

Pendant deux autres minutes, le poste B envoie le courant et le poste A fait les mêmes opérations. On a trois nouveaux nombres, a', b' et c'.

a et a' représentent les pertes, b et c les intensités au commencement et à l'extrémité de la ligne lorsque A envoie le courant, b' et c' ces mêmes résultats lorsque B envoie le courant. Les nombres a et a', b et b', c et c' ne sont pas ordinairement égaux, parce que la force des deux piles n'est pas toujours la même et que les pertes de courant peuvent être différentes aux divers points de la ligne. Ces nombres recueillis sur des registres destinés à cet usage peuvent être fort utiles pour la recherche des dérangements extérieurs.

Quand la déviation qui mesure les pertes dépasse la limite ordinaire, on en conclut qu'en certains points de la ligne il existe des dérivations particulières et on en fait la recherche comme nous l'avons indiqué plus haut.

INFLUENCE RÉCIPROQUE DES FILS DIFFÉRENTS D'UNE MÊME LIGNE.

173. — On peut observer sur chacun des fils d'une ligne électrique les différents phénomènes que nous venons d'étudier, mais leur voisinage sur une grande étendue produit, en outre, quelques effets particuliers.

Lorsque les poteaux sont très-humides et que les corps étrangers, tels que les toiles d'araignée, les débris organiques, etc., ne sont pas enlevés avec soin, il s'établit, entre les deux fils, une faible communication qui constitue ce qu'on nomme un mélange. Une partie du courant passe d'un fil sur l'autre.

Pour mesurer l'influence de ce mélange, on fait isoler les deux fils à l'extrémité de la ligne, on envoie le courant par un des fils et on met l'autre en communication avec la terre par l'intermédiaire du galvanomètre. La déviation de l'aiguille est produite uniquement par l'électricité qui passe d'un fil sur l'autre. Elle est toujours très-faible et peut être considérée comme absolument nulle quand le temps est sec. Après de grandes pluies, ce mélange peut quelquefois troubler la transmission parce que les courants qui vont tantôt dans un sens et tantôt dans l'autre, en s'ajoutant ou se neutralisant, produisent des différences d'intensités qui nuisent à la marche des appareils. Il est parfois nécessaire d'isoler un des deux fils pour pouvoir transmettre régulièrement par l'autre.

La communication entre les deux fils provient souvent d'une cause accidentelle telle qu'un mélange véritable causé par le vent.

On peut généralement regarder, dans ce cas, le contact comme parfait, et le courant envoyé par l'un des fils se divise en trois parties dont la première suit le même fil et les autres suivent le second dans les deux directions.

On reconnaît facilement quand ce dérangement a lieu, parce qu'alors le courant revient par l'autre fil avec une grande intensité faire marcher les appareils. La transmission ne peut continuer qu'à la condition qu'un des deux fils soit isolé aux deux extrémités.

On peut déterminer approximativement le point où a lieu le mélange par une méthode analogue à celle qu'on emploie pour les dérivations.

On fait isoler au poste correspondant les deux fils et l'on envoie le courant par l'un d'eux en mettant l'autre en communication avec la terre par l'intermédiaire d'une boussole. D'après la déviation de l'aiguille on connaît la résistance qui se compose uniquement des portions des deux fils depuis le poste où se fait l'expérience jusqu'au mélange. Il suffit donc de prendre la moitié de cette résistance pour avoir la distance à laquelle les fils sont mélangés. Pour arriver plus exactement au lieu du dérangement

quand il n'est pas visible à l'extérieur, on fait isoler en différents points l'un des fils, et on répète la même expérience. Toutes les fois que le courant continue à passer, on est certain que le mélange a lieu entre le poste d'où l'on envoie le courant et le point où l'on a fait couper la ligne. Quand le courant ne passe pas le mélange a lieu au delà.

174. — L'induction produite sur un fil, au moment où dans l'un des fils voisins on envoie et on interrompt le courant, est extrêmement faible ; elle n'a pas d'influence sur la transmission télégraphique, néanmoins on a pu la constater dans quelques expériences particulières.

MAUVAISE CONDUCTIBILITÉ DE LA TERRE.

175. — Il est un dernier phénomène qui se produit assez souvent dans les stations auxquelles plusieurs fils viennent aboutir, et qu'on est assez souvent tenté d'attribuer à un mélange de fils, tandis qu'il tient à ce que la communication avec la terre n'est pas parfaite.

Soit (*fig.* 94) un poste auquel arrivent les trois lignes X, X′, X″; A, A′, A″ sont les trois récepteurs; M, M′, M″ les manipulateurs dont les boutons *a*, *a*′, *a*″ communiquent avec les lignes ; les boutons *c*, *c*′, *c*″ avec le pôle cuivre de la pile et *b*, *b*′, *b*″ avec les bornes *m*, *m*′, *m*″ des appareils.

Le pôle Z de la pile et les bornes *n*, *n*′, *n*″ des appareils sont reliés au fil de terre HT.

Supposons que le poste correspondant X envoie le courant ; ce courant arrive au point H en suivant la route X*abmn*.

Le conducteur se bifurque en H et, d'après la loi sur les courants dérivés, l'électricité suit les trois directions HT, H*n*′*m*′*b*″ *a*′X′ et H *n*″*m*″*b*″ *a*″X″.

Si la résistance HT est presque nulle et si la communication avec la terre en T est parfaite, tout le courant passe par HT.

Mais lorsque la plaque qui plonge en terre n'a qu'une très-faible

étendue, ou lorsque le sol n'est pas bon conducteur, il se produit en T une certaine résistance qui peut se traduire par une longueur

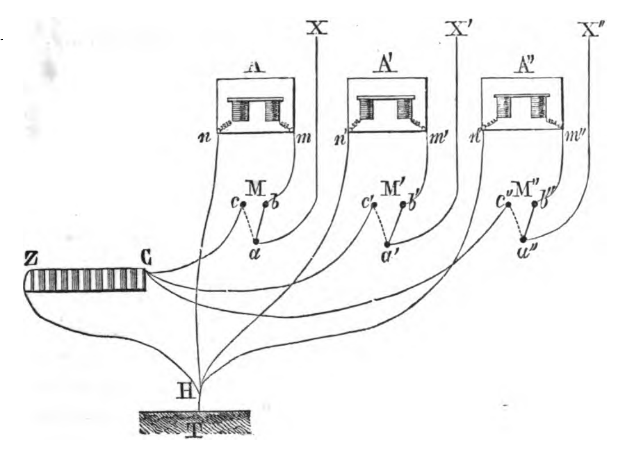


Fig. 94.

de fil; le courant se divise alors au point H et une partie passe par les fils H$n'm'b'a'$X' et H$n''m''b''a''$X''. Ces deux courants peuvent avoir une intensité assez grande pour faire dévier l'aiguille d'un galvanomètre et gêner la transmission.

Les récepteurs A' et A" peuvent même marcher ainsi que les appareils correspondants de X' et X" si la communication avec la terre est très-mauvaise ou si le fil de terre HT est rompu.

Dans le cas où le courant est envoyé dans la direction *a*X par le poste que nous considérons, l'électricité négative de la pile qui arrive en H se divise encore et peut suivre les trois conducteurs HT, H*n'* et H*n"*.

Il est donc très-important d'avoir dans les stations auxquelles plusieurs lignes viennent aboutir une bonne communication avec la terre.

Pour s'assurer qu'elle est suffisante, on envoie le courant par l'un des fils, et on place un galvanomètre sensible sur le parcours de

l'un des autres fils à la place de l'appareil récepteur. On doit, quand il est possible, choisir deux fils dont la direction soit différente, afin de se mettre à l'abri des mélanges que leur voisinage peut occasionner. Si la communication avec la terre est parfaite, l'aiguille du galvanomètre doit rester en repos.

CHAPITRE VI.

Recherche des dérangements.

176. **Dérangements.** — Quel que soit le soin avec lequel les postes sont montés et les lignes surveillées, la transmission télégraphique est quelquefois interrompue par suite d'accidents qui sont inhérents à la nature même de ce mode de communication.

Les dérangements peuvent être produits sur les lignes, par la rupture ou le mélange des fils conducteurs, par une communication avec la terre qui empêche le courant de se transmettre au delà avec une intensité suffisante ; et dans les postes, par la rupture de quelque fil recouvert, par un mauvais contact, par un accident quelconque aux appareils ou aux piles.

Dès qu'un dérangement se présente, les employés doivent immédiatement en chercher la cause, le réparer s'il a lieu dans les postes, l'analyser s'il existe sur les lignes, prévenir les agents chargés de l'entretien, en leur donnant toutes les indications qui peuvent résulter des expériences faites préalablement et faciliter une prompte réparation, enfin, en cas de besoin, leur prescrire les opérations qu'il y a lieu d'exécuter pour faire de nouvelles expériences.

177. — Notre but, en examinant les différents cas qui peuvent se présenter, est surtout de montrer comment on peut toujours arriver logiquement à déterminer le point précis d'un dérangement. Mais nous placerons d'abord ici quelques remarques destinées aux employés qui ne sont pas habitués à ce genre de recherches.

Lorsqu'on veut reconnaître si un conducteur est en bon état, il faut en général deux expériences, car on doit s'assurer 1° qu'il n'est pas rompu en un point de son parcours ; 2° qu'il ne

communique pas avec la terre, auquel cas il se formerait une dérivation du courant qui pourrait ne pas se transmettre avec une intensité suffisante au delà du point où existe la dérivation.

C'est avec le galvanomètre que se font ces expériences. On met le conducteur qu'on veut essayer à l'une de ses extrémités en communication avec l'un des pôles de la pile dont l'autre pôle communique avec la terre; entre le conducteur et la pile on place le galvanomètre.

On fait isoler en premier lieu l'autre extrémité. S'il se produit un courant, le conducteur doit communiquer avec la terre en un ou plusieurs points; il n'est pas bien isolé. Dans le cas contraire on fait la seconde expérience, en mettant en communication la même extrémité avec la terre. Si l'aiguille du galvanomètre ne dévie pas, il faut en conclure qu'il y a une solution de continuité. Quand l'aiguille dévie, on est certain que le circuit est complet; mais il peut exister sur le parcours du conducteur quelque mauvais contact occasionné par une couche d'oxyde, entre deux parties juxtaposées, qui offre une grande résistance et diminue l'intensité du courant. On doit alors examiner la déviation de l'aiguille de la boussole afin de voir si l'intensité est égale à celle que doit donner la pile que l'on emploie avec la longueur du conducteur essayé.

Cette augmentation de résistance par suite d'un contact imparfait est extrêmement rare, et il suffit ordinairement de chercher si le conducteur est suffisamment isolé et si le circuit n'est pas rompu.

Lorsque le galvanomètre, au lieu d'être placé entre la pile et le conducteur, se trouve au contraire à l'autre extrémité, les expériences sont un peu différentes.

On met le galvanomètre en communication, d'un côté avec la ligne, et de l'autre avec la terre. Si l'aiguille ne dévie pas, on en conclut que le fil est rompu, ou qu'il communique avec le sol et que la communication est assez bonne pour qu'il ne passe aucun courant au delà. Lorsque l'aiguille dévie, il n'y a pas de solution de continuité, mais il peut se faire qu'une partie du courant se perde par une ou plusieurs dérivations, ou qu'il y ait encore une résistance considérable interposée par suite d'un mauvais contact.

Il est donc indispensable de s'assurer, par la déviation de l'aiguille, si l'intensité du courant est bien celle qu'on doit obtenir quand le conducteur est en bon état.

Lorsqu'on a reconnu que le conducteur est défectueux, on le fractionne et on répète les expériences sur les différentes parties jusqu'à ce qu'on ait trouvé la cause du dérangement. Les expériences doivent être répétées plusieurs fois, surtout lorsqu'elles ne donnent qn'un résultat négatif, car il peut arriver, lorsqu'on touche, par exemple, un bouton de cuivre avec un fil métallique, que le vernis dont est recouvert le bouton empêche le contact.

Lorsqu'un dérangement se produit, il ne faut pas se borner à examiner les fils qui sont sur les tables de manipulation, mais suivre les conducteurs jusqu'à la sortie des bâtiments. S'il existe en dehors des paratonnerres, il faut les considérer comme faisant partie des postes, et en général pousser les investigations sur la ligne aussi loin que possible.

Toutes les expériences doivent être faites avec le plus grand soin et de plusieurs manières, de façon à se contrôler. C'est seulement lorsqu'on est parfaitement certain que le dérangement existe sur la ligne qu'on doit examiner de quelle nature il peut-être, à quelle distance il peut se trouver, et faire partir les surveillants chargés de le réparer.

178. — Un poste bien organisé doit contenir : 1° sur le parcours de chacun des fils un galvanomètre sensible, qui puisse indiquer à chaque instant et pendant la transmission elle-même le passage du courant. Ce galvanomètre est ordinairement placé sous les yeux de l'employé, entre le manipulateur et le paratonnerre ; 2° une bonne boussole de sinus à aiguille suspendue, ayant 12 ou 15 tours de fils, établie à certaine distance des appareils pour que l'aimantation des électro-aimants ne puisse l'influencer. Cette boussole sert principalement aux expériences exactes sur l'état des lignes, à la recherche des dérangements extérieurs, etc. ; 3° un galvanomètre très-sensible à aiguille également suspendue, ayant au moins 50 ou 60 tours de fils : il peut être utile pour les expériences délicates comme celles qu'on peut avoir à faire pour

déterminer la bonne communication avec la terre et pour l'étude des courants naturels ; 4° des bobines de fil métallique recouvert de soie, qui sont souvent utiles pour reconnaître le bon état des piles remplissent le même usage qu'un rhéostat.

Il est également bon d'avoir dans les postes un baromètre, un thermomètre et un hygromètre. L'état atmosphérique agit tellement sur l'isolement des lignes qu'il est nécessaire d'en tenir compte dans la plupart des expériences qu'on peut être appelé à faire.

Dans un poste, on doit toujours connaître le nombre de degrés que donne la boussole de sinus avec un nombre déterminé d'éléments : 1° quand la ligne est isolée à l'autre extrémité ce qui indique les pertes de courant ; 2° quand l'extrémité de la ligne est directement en communication avec la terre ; 3° quand le courant traverse au poste correspondant le récepteur. Des expériences journalières ou au moins fréquentes doivent être faites pour déterminer ces nombres dans des circonstances atmosphériques diverses ; les résultats sont recueillis avec soin pour qu'on puisse les consulter et en tirer des conclusions utiles à la recherche des dérangements extérieurs et à l'entretien des lignes.

Il est également utile de savoir, pour chaque appareil, avec quelle intensité de courant il peut fonctionner quand on l'a rendu aussi sensible que possible en détendant le ressort de rappel, et le nombre d'éléments de la pile qui peuvent le faire marcher directement sans l'intermédiaire de conducteur extérieur.

On peut toujours néanmoins, sans le secours de ces instruments et de ces renseignements divers, reconnaître les dérangements qui ont lieu dans les postes. Un simple galvanomètre suffit, et, à la rigueur, les appareils eux-mêmes, qui accusent le passage du courant par une aimantation de l'électro-aimant, peuvent en tenir lieu.

MARCHE A SUIVRE DANS LES EXPÉRIENCES.

179. — Nous nous supposerons d'abord dans un poste auquel un seul fil vient aboutir. Pour une cause quelconque le correspondant ne répond pas aux attaques qui lui sont faites, ou, s'il y répond, rien n'indique le passage du courant qu'il envoie. Nous allons examiner la série d'expériences qui peuvent faire découvrir la cause de cette interruption du service.

Dans tout ce qui suit, nous ne ferons aucune hypothèse spéciale sur la forme des appareils, tous reposant sur le même principe. Il est évident que pour les récepteurs qui ne marchent que par l'intermédiaire d'un relais (comme dans le système Morse), c'est au relais qu'il faut appliquer les expériences, puisque c'est lui qui reçoit le courant de la ligne.

L'installation des bureaux télégraphiques est extrêmement variable; tantôt les fils conducteurs sont placés au-dessus des tables de manipulation, tantôt ils sont au-dessous; souvent les communications sont établies par des lames métalliques fixées sur des planchettes de manipulation; il peut se trouver sur leur parcours divers commutateurs destinés à faciliter les différentes opérations qu'on peut être appelé à faire dans le courant du service; mais quelle que soit la disposition adoptée, en suivant leurs parcours dans le poste, on peut toujours les considérer comme formant la série des communications indiquées dans la figure 95.

Le fil de la ligne arrivé à l'entrée du poste en *h* traverse le paratonnerre P, le galvanomètre G, et arrive au bouton a du manipulateur. Ce manipulateur est formé d'un levier ab qui est mobile autour du point a et touche alternativement les deux boutons *b* et *d* dont le premier est relié à la borne L de l'appareil à signaux et l'autre au pôle cuivre de la pile par l'intermédiaire du commutateur de pile C. Le bouton T de l'appareil à signaux et le pôle zinc de la pile sont reliés au fil de terre *pq*.

La première opération à faire consiste à mettre le manipulateur sur une position de contact ou d'émission et à voir si le courant passe. Il suffit de jeter les yeux sur le galvanomètre G. Lors-

qu'il n'est pas dans le circuit à l'état permanent, on doit l'y placer de façon à laisser subsister toutes les communications ordinaires.

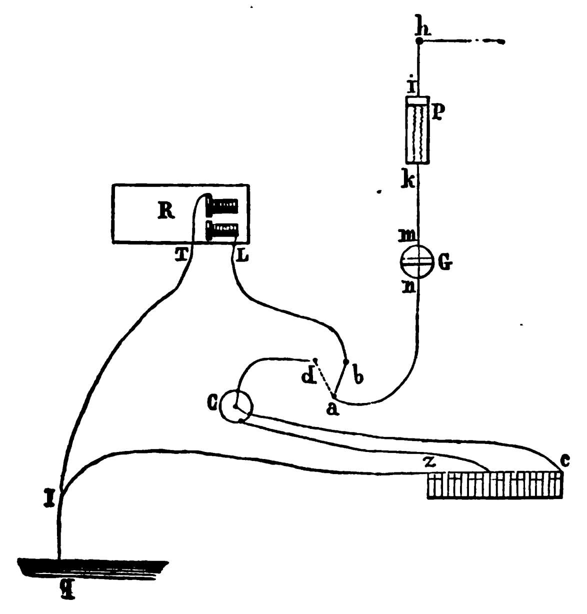


Fig. 95.

Deux cas peuvent se présenter :

1° L'aiguille du galvanomètre dévie ;

2° Elle ne bouge pas.

180. — Admettons en premier lieu qu'il y ait une déviation. Comme il est possible que dans le poste il existe une communication avec la terre, entre le point *n* et le point *h*, cette expérience ne suffit pas pour conclure que le courant se transmet sur la ligne. Il faut détacher le fil conducteur à son entrée dans le poste *h* et l'isoler. On répète alors l'expérience précédente, en examinant le galvanomètre, ce qui donne lieu à l'un des deux résultats suivants :

A. Le galvanomètre accuse encore le passage d'un courant;
B. L'aiguille ne dévie pas.

A. Si le courant passe encore on doit en conclure, puisque le fil est isolé à l'entrée du bureau, qu'il existe dans le poste même une communication avec la terre; pour la découvrir, il faut laisser le galvanomètre dans le circuit et le manipulateur sur une position de contact, et suivre le fil depuis son extrémité jusqu'au galvanomètre en le détachant successivement à tous les boutons des paratonnerres, des commutateurs et des planchettes; on est sûr d'arriver ainsi à un point à partir duquel le courant est interrompu. Le dérangement se trouve évidemment entre les deux points pour lesquels l'expérience donne deux résultats différents. Ce dérangement est très-fréquent dans les postes; il se présente toutes les fois que, par suite d'un orage, la soie qui entoure le fil fin du paratonnerre (nos 91 et 92) a été brûlée.

B. Quand l'aiguille du galvanomètre ne dévie pas, il n'y a pas de dérivation dans le poste et, par conséquent, le courant passe sur la ligne quand le manipulateur est sur une position d'émission.

De nouvelles expériences sont nécessaires pour s'assurer que l'appareil peut recevoir le courant de la station voisine.

On place le manipulateur sur une position de réception et on détache de nouveau le fil à l'entrée du poste; on le fait communiquer, au moyen d'un long fil métallique, au pôle actif de la pile, de façon à former avec ce fil un circuit dans lequel se trouvent la pile, l'appareil et le manipulateur.

Deux cas peuvent se présenter :

a. L'électro-aimant de l'appareil s'aimante et attire la palette;
b. L'appareil n'accuse aucune trace de courant.

a. Quand l'appareil indique le passage du courant, le fil du poste et l'appareil sont en bon état et il n'y a aucun dérangement dans le bureau si la pile est assez forte et si le récepteur a été réglé de façon à pouvoir fonctionner avec la plus faible intensité de courant possible, ce dont on peut s'assurer en le faisant marcher dans l'intérieur du poste avec quelques éléments seulement Nous

reviendrons spécialement sur ce cas qui est un de ceux où le dérangement ne peut être qu'extérieur.

b. Si l'appareil n'indique pas le passage du courant, le dérangement provient de l'une des trois causes suivantes : rupture du circuit a*b*LTI ; communication avec la terre du conducteur abL, qui empêche le courant de traverser l'appareil ; dérangement dans le récepteur lui-même.

Pour reconnaître si la communication a*b*LTI est en bon état, on attache encore le fil d'essai d'une part au pôle positif de la pile et de l'autre au point *h* en isolant le fil de la ligne, et on examine le galvanomètre.

a_1. Si le courant ne passe pas, il doit y avoir une solution de continuité entre a et I, car, par la première expérience, on s'est assuré de la communication *anmh* et du fil de terre Iq.

On détermine le point de cette rupture en laissant le fil d'essai entre *c* et *h*, en fixant un second fil au pôle z de la pile et en touchant avec l'autre extrémité toutes les parties métalliques du circuit depuis I jusqu'en a, en T, L, *b* par exemple. Il est évident qu'on arrivera ainsi à fermer le circuit, ce qu'on reconnaîtra à la déviation de l'aiguille du galvanomètre G.

Ce dérangement tient souvent à ce que le levier du manipulateur, quand il est à l'état de repos, ne touche pas le bouton qui correspond à l'appareil. Il peut également être causé par une rupture du fil qui entoure l'électro-aimant du récepteur (entre L et T). Quand cette rupture a eu lieu par suite d'un orage, on remet aisément l'appareil en état en déroulant quelques tours.

b_1. Si un courant traverse le conducteur HPGabL, quand c et z sont réunis par le fil d'essai, on détache le fil en L en l'isolant, et l'on examine le galvanomètre G, qui doit rester en repos quand la communication est bonne.

Si l'aiguille dévie encore, le conducteur nabL doit avoir une communication avec la terre ; pour la trouver, on détache le fil, depuis L jusqu'en n, à tous les boutons des planchettes des commutateurs et du manipulateur.

c_1. Quand ces deux expériences ont démontré que le fil conducteur dans le poste est continu et n'a aucune communication avec

la terre, on en conclut que le dérangement existe dans l'appareil, qui ne marche pas, bien que le courant traverse le fil qui entoure son électro-aimant.

Ce défaut du récepteur peut tenir à un trop grand rapprochement des vis qui limitent la course de la palette et l'empêchent de se mouvoir, à un éloignement trop considérable de l'électro-aimant; pour les appareils qui contiennent un mécanisme d'horlogerie, il peut exister quelque vice de construction qui empêche l'échappement de se faire.

181. — Nous passons maintenant au cas où le galvanomètre G ne dévie pas quand on met le manipulateur sur une position d'émission du courant.

Il faut, en premier, bien s'assurer que le circuit n'est pas rompu dans le poste.

On prend un fil d'essai sur le parcours duquel on place un galvanomètre; on l'attache d'une part au pôle *z* de la pile, en ayant soin de détacher préalablement le fil de terre I_2 *z*, et de l'autre au point h; on laisse le manipulateur sur la position d'émission du courant (la tige mobile suivant a*d*). Il peut se présenter deux cas :

A. L'aiguille du galvanomètre placée sur le parcours du fil d'essai reste stationnaire;

B. Elle dévie.

A. Si le galvanomètre n'indique pas le passage du courant, pour trouver le lieu de la rupture du circuit, on laisse l'une des extrémités du fil d'essai en *z*, et avec l'autre on touche toutes les parties du conducteur *hikmn*a*dCc* qui sont à découvert, jusqu'à ce qu'on arrive à un point à partir duquel le courant passe.

Dans le cas où l'on parviendrait ainsi jusqu'au pôle cuivre de la pile sans obtenir de déviation à l'aiguille, le dérangement existerait dans la pile elle-même. On continuerait à toucher avec l'extrémité du fil d'essai les lames de cuivre des divers éléments jusqu'à ce qu'on obtînt une déviation de l'aiguille du galvanomètre.

Ce dérangement peut être causé par la rupture du fil du paratonnerre s'il est construit d'après le modèle indiqué au n° 90;

par une mauvaise communication du levier du manipulateur avec le bouton qui correspond à la pile, enfin par une interruption du circuit dans la pile provenant de ce qu'une lame de cuivre ne plonge pas assez profondément dans un vase poreux.

B. Quand l'aiguille dévie, il n'y a pas de rupture de circuit dans le poste; mais il peut arriver que le fil conducteur communique avec la terre entre le pôle *c* de la pile et le point *n*, ou que le fil de terre I*q* soit rompu.

a. On enlève le fil d'essai qui reliait *z* et *h*, on rattache le fil de terre en *z*; en plaçant le galvanomètre sur son parcours. Si l'aiguille dévie, le fil communique avec la terre entre *c* et *n*, on trouve le point de contact en détachant le fil conducteur entre *n* et *c*, jusqu'à ce que l'aiguille revienne au repos.

Ce cas se présenterait si le paratonnerre étant entre a et *n*, au lieu de se trouver au delà de G, comme dans la figure 95, son fil fin recouvert de soie était fondu.

b. Pour reconnaître si le fil de terre est rompu il faut encore former le circuit en laissant le manipulateur sur la position d'émission; on fixe un fil d'essai d'une part en *h* et on touche avec l'autre extrémité le fil de terre en différents points depuis *z* jusqu'en *q*; au moment où le galvanomètre G indique une interruption du circuit on a dépassé le point de rupture du fil.

Le fil de terre peut être brisé à l'extérieur du poste, au niveau du sol, ou même en terre. On n'a d'autre moyen de s'assurer que la communication avec le réservoir commun est bonne que d'établir un second fil de terre tout à fait indépendant du premier; on le fait communiquer avec un fil d'essai pour former le circuit avec la pile, le fil *z*I*q*, le fil d'essai, le 2[e] fil de terre et la portion du sol comprise entre les deux électrodes. Il doit y avoir un courant si les deux communications avec le sol sont suffisantes.

Dans la plupart des cas il suffit de visiter avec soin le fil de terre.

Cette expérience est d'ailleurs inutile, quand, en plaçant le manipulateur sur la position de contact, on reconnaît l'existence d'un faible courant qui provient des pertes par l'atmosphère, quand il se produit un courant de retour, enfin dans les postes auxquels

plusieurs lignes aboutissent, quand le dérangement a lieu dans une seule direction.

C. Lorsque toutes ces expériences ont démontré que le dérangement n'existe pas dans le poste, on est certain que le fil conducteur de la ligne est isolé en un point de son parcours.

182. — Il reste, pour compléter la liste des divers dérangements qui peuvent se présenter, à examiner le cas où la palette du récepteur est attirée d'une manière continue par l'électro-aimant :

A. On détache le fil conducteur au point où le courant entre dans l'appareil, en L; si l'attraction de la palette persiste, comme il ne peut passer aucun courant dans le récepteur, c'est au mécanisme qu'il faut attribuer ce dérangement. Il peut arriver que la vis qui touche la palette quand elle est à l'état de repos soit trop avancée et presse la palette contre l'électro-aimant; que l'électro-aimant soit trop rapproché de la palette et l'empêche de se mouvoir; que l'électro-aimant soit aimanté par suite d'une décharge d'électricité atmosphérique. Ce dernier cas ne se présente que lorsque le fer est de mauvaise qualité, il est extrêmement rare.

B. Après s'être assuré que le contact ne tient pas à un défaut du récepteur, il faut rechercher s'il est produit par une communication dans le poste entre le conducteur L*banmkih* et le fil de la pile. Il suffit d'isoler le fil à l'entrée du poste en *h*; quand le contact subsiste, le dérangement existe dans le poste. On sait, en consultant le galvanomètre G, s'il a lieu entre *m* et *h* ou entre *n* et L. En détachant le fil successivement aux différentes bornes, depuis *h* jusqu'en L, et en l'isolant, on arrive à un moment où le courant cesse de traverser l'appareil. Ce dérangement provient souvent de ce que le levier du manipulateur touche en même temps le bouton de la pile *d* et celui de réception *b*.

C. Quand le contact ne tient à aucune des causes précédentes et qu'il cesse dès qu'on isole le fil à l'entrée du bureau, on en conclut que le courant qui traverse l'appareil vient de l'extérieur, soit qu'il soit produit par un dérangement au poste correspondant,



soit qu'un phénomène atmosphérique quelconque donne lieu à un courant continu.

483. — Voici en résumé le tableau des divers cas de dérangements que nous venons d'examiner :

- **1**
  - **A** Communication avec la terre dans le poste, entre le galvanomètre et l'entrée du fil dans la station.
  - **B**
    - *a* Communication avec la terre sur la ligne. (Dérangement extérieur.)
    - *b*
      - a_1 Interruption du circuit entre le manipulateur et le fil de terre. Rupture du fil de l'électro-aimant du récepteur.
      - b_1 Communication avec la terre entre le manipulateur et le récepteur.
      - c_1 Dérangement dans le récepteur.
- **2**
  - **A** Interruption du circuit dans le poste ou dans la pile.
  - **B**
    - *a* Communication avec la terre entre la pile et le galvanomètre.
    - *b* Rupture du fil de terre ou mauvaise communication avec le sol.
    - *c* Fil de la ligne isolé en un point quelconque. (Dérangement extérieur.)
- **3**
  - **A** Dérangement dans l'appareil. Contact permanent.
  - **B** Communication dans le poste entre le fil conducteur et un fil de pile.
  - **C** Courant continu venant de la ligne. (Dérangement extérieur.)

On est toujours certain, en suivant la marche générale que nous venons d'indiquer, d'arriver sûrement à la cause de l'interruption ; mais bien que toutes ces expériences soient extrêmement simples, on peut dans beaucoup de cas les simplifier encore et trouver instantanément le dérangement.

Quand les appareils nécessitent une inversion dans le sens du courant, les deux pôles de la pile sont reliés au manipulateur ; la méthode à suivre est identiquement la même, mais on doit tenir compte du pôle qui est mis en communication avec la ligne quand on envoie le courant par le manipulateur.

184. **Dérangements de pile.** — Nous avons supposé jusqu'ici qu'un nombre déterminé d'éléments donne toujours la même intensité de courant pour la même longueur de conducteur. Les piles sont en général assez constantes pour qu'on puisse admettre ce résultat ; il peut cependant se présenter des cas où il soit nécessaire de vérifier leur état.

Les dérangements peuvent être produits dans les piles : par la rupture d'une communication entre deux éléments ; par une communication entre deux fils qui correspondent à des nombres différents d'éléments ; par un mauvais état d'un certain nombre de ces éléments.

Pour suivre la variation d'énergie d'une pile, on réunit les deux pôles par un conducteur d'une résistance connue, en plaçant dans le circuit une boussole : la déviation de l'aiguille indique l'intensité du courant. Il est toujours préférable d'employer des bobines de fil très-fin dont on connaît d'avance la résistance ; à défaut de ces bobines, on peut envoyer le courant sur une ligne d'une longueur déterminée, mais il faut s'assurer d'avance que le fil conducteur est suffisamment isolé, en cherchant l'intensité du courant qui provient seulement des pertes par l'atmosphère.

Les registres de déviations donnent ces nombres, et on reconnaît, à un moment donné, le mauvais état de la pile, quand il se manifeste une diminution dans l'intensité.

Nous avons déjà vu comment on trouve le point où il existe une rupture de circuit entre deux éléments lorsque la pile ne donne aucun courant.

Supposons donc que la pile produise un courant dont l'intensité soit plus faible qu'à l'ordinaire :

On commence par placer le galvanomètre sur le parcours du fil de terre, en isolant, aux divers manipulateurs du poste tous les fils de pile. S'il y a un courant produit, il ne peut provenir que d'un contact avec la terre de l'un de ces fils, et, en enlevant l'une après l'autre de la pile les plaques de cuivre qui leur correspondent, on trouve celui d'entre eux qui donne lieu à cette communication..

Quand les éléments ne sont pas bien nettoyés à l'extérieur, il peut s'établir par les inscrustations salines qui les recouvrent une communication avec la terre qui produit un faible courant. On enlève successivement tous les éléments, à partir du dernier, jusqu'à ce qu'on arrive à un point à partir duquel la pile soit bien isolée.

Quand deux des fils de pile se touchent, leur contact produit un circuit secondaire et annule un certain nombre d'éléments ; pour trouver cette communication, on agit comme pour le fil de terre, on place le galvanomètre sur le parcours de l'un d'eux, et tous les autres étant isolés aux manipulateurs, on examine l'aiguille de la boussole dont la déviation indique le mélange ; on détermine le fil avec lequel celui qu'on essaie communique en enlevant successivement tous les autres de la pile.

Enfin, quand on a reconnu que toutes les communications sont bonnes, l'affaiblissement du courant ne doit être attribué à quelques éléments défectueux, soit parce qu'ils ne contiennent pas de sulfate, soit parce que les vases en terre ne sont pas assez poreux. On divise la pile en groupes composés d'un même nombre d'éléments et on cherche l'intensité que donne chaque groupe avec la même boussole et le même circuit extérieur. Celui des groupes pour lequel l'intensité est la plus faible contient les éléments défectueux.

DÉRANGEMENTS EXTÉRIEURS.

185. — Quelques instants suffisent pour trouver un dérangement quand il existe dans l'intérieur d'un bureau télégraphique, et la réparation peut se faire immédiatement.

Il n'en est pas ainsi lorsqu'il est extérieur, car il faut aux surveillants pour visiter la ligne dans toute son étendue un temps variable avec sa longueur et les moyens de transport qu'ils ont à leur disposition.

Le parcours à pied sur la ligne demande un temps assez considérable, quelques parties d'ailleurs peuvent être souterraines, et l'interruption pourrait souvent durer très-longtemps si l'on ne donnait aux surveillants des indications sur la nature et le lieu du dérangement, indications qui résultent des expériences qu'on peut faire dans les postes en s'aidant de tous les moyens et de tous les renseignements qu'on a à sa disposition.

Le cas dans lequel nous nous sommes placé d'un poste extrême desservi par un seul fil conducteur est celui pour lequel ces indications sont les plus vagues; néanmoins, si dans les deux postes correspondants les expériences sont conduites avec intelligence, il est rare qu'on n'arrive pas à fournir aux surveillants d'utiles renseignements.

Lorsqu'on a un autre moyen de communication avec la station voisine, les expériences peuvent être faites de concert et l'on obtient des données beaucoup plus certaines.

Nous allons passer en revue les trois cas où le dérangement est extérieur et qui correspondent aux indications 1.*B.a*, 2.*B.c* et 3.*C* du tableau.

186. — Lorsque le courant passe sur la ligne quand on met le manipulateur sur une position de contact, il peut arriver : 1° que le fil soit rompu et traîne à terre sur une longueur plus ou moins grande; 2° qu'une dérivation en un point de la ligne empêche le courant de se transmettre au delà; 3° qu'au poste correspondant il y ait un dérangement n'empêchant pas le courant de passer quand il vient de l'extérieur.

On prend le nombre d'éléments avec lequel se font les expériences journalières sur l'état des lignes, et on envoie le courant en lui faisant traverser la boussole de sinus.

Si la déviation est à peu près égale à celle qu'on obtient ordinairement quand le courant traverse l'appareil du poste correspondant, il y a de grandes chances pour qu'il n'y ait aucun dérangement sur la ligne et que l'interruption provienne uniquement de l'absence de l'employé de service au bureau correspondant ou d'un accident à son appareil.

Si elle est la même que lorsque le fil, à l'extrémité, communique directement avec la terre, on peut supposer également que le dérangement existe près du poste voisin, sinon dans l'intérieur même de ce poste.

Comme il pourrait arriver néanmoins que le fil fût rompu et que la communication avec le sol présentât une résistance à peu près égale à celle de la ligne, il est prudent, dans ces deux cas, de faire partir les surveillants, quand la durée du dérangement a dépassé le temps moral nécessaire pour qu'il soit réparé à l'autre station.

S'il arrive que la déviation soit plus forte que celle que donnent les expériences journalières, on peut en conclure que le fil communique avec le réservoir commun. La cause la plus probable du dérangement est une rupture du fil conducteur.

En France, le fil est arrêté, en général, à tous les kilomètres; lorsqu'il se rompt, il doit au moins de l'un de ses côtés traîner sur une assez grande longueur, et l'on peut admettre que la communication avec la terre est assez bonne pour considérer sa résistance comme nulle. En désignant par l la longueur de la ligne, par x la distance inconnue à laquelle a lieu la rupture, par I l'intensité du courant donnée d'après les régistres de déviation, quand l'extrémité de la ligne communique avec la terre, enfin par i l'intensité mesurée avec la boussole pendant le dérangement, on peut appliquer la formule : $I : i :: x : l$ ou $x = \frac{I}{i} l$ qui est sensiblement exacte au moins pour l'un des postes.

Supposons, par exemple, que la longueur de la ligne soit de

250 kilomètres, et que la déviation ordinaire de l'aiguille, quand au poste correspondant on fait communiquer directement la ligne avec la terre, soit de 12° et qu'on trouve en cas de dérangement une déviation de 17° avec le même nombre d'éléments, on aura pour la distance à laquelle le fil est rompu $x = \frac{12}{17} \times 250$, ou environ $x = 176$ kilomètres.

Si la boussole renverse ou si elle indique le passage d'un courant très-intense, la rupture doit se trouver à une petite distance.

Quand le dérangement est produit par une dérivation d'une faible résistance, on peut appliquer la même formule qui fournit une approximation suffisante pour aider le surveillant dans ses recherches.

Quelquefois la dérivation provient du contact d'un corps humide, à l'entrée d'un tunnel par exemple, elle peut arrêter la transmission, mais en général elle n'empêche pas le courant de passer en partie et on peut le reconnaître quelquefois en plaçant un galvanomètre sensible sur le parcours du fil; on examine si l'aiguille éprouve de légères oscillations causées par le courant que le correspondant essaye de temps en temps d'envoyer sur la ligne; quand ces oscillations ont lieu, il existe seulement une dérivation en un point du conducteur et l'on fait partir le surveillant pour qu'il en puisse faire disparaître la cause.

Lorsque les lignes sont sur un chemin de fer et qu'aucune partie n'en est cachée, quelques heures suffisent pour parcourir l'espace qui sépare deux stations; du train même, on peut souvent voir le dérangement, et le surveillant s'arrête à la station la plus rapprochée.

Souvent certaines parties ne suivent pas la voie, d'autres peuvent être souterraines. Il est nécessaire, dans beaucoup de cas, de faire de nouvelles expériences dirigées suivant la connaissance que l'on a des lieux, des heures d'arrivée et de départ des trains aux diverses stations, des parties de la ligne qui sont dans des conditions anormales, etc.

Dans ce but, on donne l'ordre aux surveillants de rompre la

communication du fil conducteur en un point déterminé de la ligne, en lui fixant exactement l'heure et le temps pendant lequel il doit laisser la communication interrompue, 5 ou 10 minutes par exemple. Il isole la ligne du côté du poste où doit se faire l'expérience, et au moment convenu, on envoie le courant en le faisant passer dans la boussole.

Quand l'aiguille reste stationnaire, le dérangement se trouve au delà du point où le fil conducteur a été isolé. Si au contraire elle dévie, la communication avec la terre existe entre le poste et l'endroit où se trouve le surveillant. Lorsqu'on ne peut prévenir cet agent, on le laisse continuer sa tournée et on en fait partir un second avec de nouvelles instructions.

Quand l'interruption dure longtemps et qu'un agent supérieur peut aller sur la ligne, il doit être muni d'un galvanomètre portatif; au poste duquel il part, il fait envoyer le courant d'une façon permanente; après avoir fait isoler la ligne comme précédemment en un point quelconque, il fait communiquer le fil conducteur avec l'une des bornes de son galvanomètre et met l'autre en communication avec la terre.

Si le courant passe, il peut en conclure que la communication est assez bonne entre le poste et le lieu où il se trouve.

Le fil du galvanomètre offrant une très-faible résistance, il pourrait exister une dérivation, et néanmoins par la déviation de l'aiguille, on constaterait le passage du courant. Quand on fait cette expérience, il est bon de faire traverser au courant, au point où se fait l'expérience, des bobines de fil très-fin, d'une résistance à peu près égale à celle des appareils, et de juger, d'après la déviation de l'aiguille, si l'intensité du courant est en rapport avec celle qu'il doit avoir quand la ligne est en bon état.

Cette méthode ne doit être employée que dans des cas exceptionnels, car la conduite des expériences se fait toujours mieux dans une station que sur la ligne.

Ordinairement on a plusieurs moyens de correspondance télégraphique entre deux postes, soit que la ligne ait plusieurs fils, soit que l'on puisse profiter d'une autre voie de communication. La recherche des dérangements est alors singulièrement facilitée.

On envoie le courant de l'un des postes en faisant successivement au bureau correspondant : 1° isoler le fil hors de service ; 2° en le faisant communiquer avec la terre ; si l'intensité du courant est identiquement la même dans les deux cas, on en conclut qu'il y a une rupture de fil.

Aux deux stations on fait alors l'expérience indiquée plus haut, et, appliquant la formule $x = \frac{I}{i} l$, on obtient deux points de la ligne entre lesquels se trouve le dérangement.

Si la déviation ne reste pas la même, il y a seulement une communication du fil avec la terre, et en procédant comme il a été dit au n° 168, on détermine approximativement le point où elle a lieu.

Quand l'interruption se produit sur un fil qui passe à des stations intermédiaires où il est établi en communication directe, la première opération consiste toujours à faire couper le fil à ces stations et à faire les expériences nécessaires pour déterminer la section de la ligne qui est en mauvais état.

Nous n'avons pas encore parlé du cas où, en cherchant l'intensité du courant, on reconnaît qu'elle est plus faible que lorsque le courant traverse l'appareil au poste correspondant. On procède pour la recherche du dérangement comme on le fait quand l'intensité du courant est nulle. (*Voir* le n° 187.)

187. — Le deuxième cas de dérangement extérieur (2.B.*c*.) a lieu quand le fil conducteur est isolé en un point quelconque.

Il est plus rare que le précédent ; il se présente quand le fil est rompu très-près d'un point d'arrêt et qu'il ne peut toucher le sol ; quand les bouts de fil sont réunis au moyen de serre-fils (*voir* le chapitre suivant) et que le contact des deux extrémités juxtaposées n'est pas bien établi.

Il est impossible de déterminer la distance exacte à laquelle existe le dérangement, mais au moyen de quelques expériences on peut se faire une idée de sa nature.

On met un galvanomètre très-sensible sur le parcours du fil, on examine, en faisant communiquer le conducteur de la ligne

avec la pile, s'il y a un courant et si ce courant est en rapport avec celui que donnent ordinairement les pertes par l'air dans des circonstances atmosphériques analogues. Plus la déviation de l'aiguille est grande et plus la distance de l'isolement du fil est considérable.

En produisant de rapides interruptions de courant à l'aide du manipulateur, si l'on n'observe pas de courant de retour, l'isolement de la ligne doit être assez voisin ; dans le cas où le récepteur indique ce courant de retour, l'isolement doit se trouver au contraire à une grande distance et tient en général à un dérangement au poste correspondant.

Quand il est nécessaire de circonscrire le dérangement, on fait partir le surveillant en lui donnant l'ordre, à un instant donné, de faire communiquer le fil de la ligne avec la terre au moyen d'un fil d'essai dont il plonge une extrémité dans un cours d'eau ou l'applique fortement contre les rails d'un chemin de fer quand il est possible. Toutes les fois que ce contact a pour effet de faire passer le courant, le dérangement existe au delà du point où se trouve le surveillant.

Si l'agent qui se trouve sur la ligne est muni d'un galvanomètre, il peut lui-même reconnaître l'état de la ligne en le mettant sur le parcours du fil qui réunit le conducteur de la ligne à la terre, pourvu qu'au poste on envoie un courant permanent.

Il doit, quand il fait cette expérience, isoler l'autre côté de la ligne, parce qu'au second poste on pourrait également envoyer le courant et il ne pourrait savoir de quel côté vient celui qui reçoit.

Quand la ligne a plusieurs fils desquels on puisse disposer pendant un certain temps, il est plus simple de faire réunir à un instant donné deux fils et de voir si le circuit est complet.

Aux postes intermédiaires qui peuvent se trouver sur le parcours de la ligne, on doit toujours faire exécuter la même opération afin de connaître la section sur laquelle existe le dérangement.

188. — Il nous reste à examiner le cas où un courant continu se manifeste sur la ligne. La cause la plus générale est une communication entre le fil conducteur et la pile au poste correspondant ; l'employé de service à ce poste ne peut tarder à reconnaître ce

dérangement en isolant le fil à l'entrée de son bureau comme nous l'avons dit plus haut.

Sur quelques lignes de chemins de fer, il existe certains fils destinés à donner des indications sur la marche des trains et qui sont parcourus par un courant continu ; le dérangement se présenterait s'il y avait mélange entre ces fils et un de ceux de la ligne électrique.

On doit toujours commencer par placer dans le circuit la boussole qui sert aux expériences journalières ; quand l'intensité du courant qui vient de la ligne est à peu près égale à celle qui traverse le galvanomètre, quand le correspondant transmet, on peut supposer que le contact entre la pile et le fil conducteur a lieu à la station voisine, et l'on doit chercher à prévenir le poste voisin par tous les moyens possibles.

Quand on doit faire des expériences plus précises, on fait isoler le fil en divers points de la ligne ; si le courant cesse, la communication avec la pile se trouve au delà du point auquel le fil a été isolé.

Lorsque le courant varie lentement d'intensité, il peut tenir à des circonstances atmosphériques ou physiques particulières ; il est utile d'en observer toutes les différentes phases. Nous avons déjà assigné dans le chapitre précédent diverses causes à ces courants naturels qui sont en général peu intenses sur les lignes dont les fils sont suspendus en l'air.

189. **Dérangements dans les postes multiples.** — La plupart des postes télégraphiques sont desservis par plusieurs fils conducteurs. On peut rechercher sur chacun d'eux les dérangements comme dans le cas d'un seul fil, mais les expériences peuvent être souvent simplifiées.

Ainsi, lorsqu'en dehors des bureaux on réunit deux des fils et qu'en transmettant dans le poste par un des fils on reçoit bien par l'autre, et réciproquement, on peut en conclure que toutes les communications sont bonnes dans la station.

Le fil de terre ne peut être rompu si le courant passe sur une seule des lignes qui aboutit au poste.

Les mélanges de fils sont les dérangements les plus fréquents

sur les lignes électriques. On les reconnaît aisément puisque le courant envoyé par un des fils revient par l'autre. Pour reconnaître s'il existe dans le bureau, on détache l'un des deux fils à son entrée dans la station.

Quand le mélange persiste, on suit l'un d'eux depuis son extrémité jusqu'au point où il arrive aux appareils et on le détache successivement à tous les boutons des paratonnerres, des commutateurs, des boussoles, jusqu'à ce qu'on arrive à faire cesser le mélange, on reconnaît ainsi entre quels points du poste il peut avoir lieu.

Quand le mélange a lieu sur la ligne, on détermine approximativement le lieu par la méthode indiquée au n° 173.

Le surveillant reconnaît facilement le mélange des fils sur la ligne; quand il est nécessaire, on lui fait isoler l'un des deux conducteurs en un point déterminé et on examine, au moment où la rupture du circuit a été faite, si le mélange persiste, auquel cas il se trouve entre le poste et le point où l'expérience a été faite.

Le mélange des fils peut aussi tenir à une mauvaise communication des piles et appareils avec la terre. (*Voir* le n° 175.)

Lorsque dans un poste où plusieurs appareils fonctionnent comme translateurs, la transmission est interrompue sur une des lignes pour laquelle la translation a lieu, on recherche la cause du dérangement en suivant la méthode générale successivement avec chacun des deux correspondants, mais on prend pour manipulateur la palette de l'appareil qui fait communiquer la pile avec le fil conducteur du côté où l'on veut faire l'expérience, et pour récepteur l'autre appareil comme nous l'avons dit au deuxième et au quatrième chapitre.

190. — Toutes ces expériences exigent de la part des employés beaucoup de soins et d'attention, un grand esprit de logique que l'habitude peut faire acquérir une connaissance parfaite de la marche du courant, de l'état de la ligne, de la manière dont elle est établie, des parties qui peuvent donner lieu à des dérangements d'une nature spéciale.

Si, par exemple, une ligne a un grand nombre de fils placés directement les uns au-dessus des autres, et, si un des fils supérieurs,

étant hors de service, donne lieu à un courant intense quand on le fait communiquer avec la pile, il est assez difficile d'admettre qu'il y ait rupture sans mélange avec ceux qui sont placés au-dessous, et l'on doit plutôt attribuer le dérangement à une communication avec la terre dans une partie souterraine ou dans un des postes que traverse le fil.

Quand des deux côtés la ligne paraît isolée, il faut en conclure que le fil est rompu entre deux points rapprochés auxquels le fil est arrêté et ne peut glisser dans les supports; c'est donc sur ces points, peu nombreux en général sur les lignes, qu'il faut éveiller l'attention des surveillants.

La recherche des dérangements est la partie la plus délicate du service télégraphique, et, si nous sommes entré dans d'aussi grands détails, c'est que nous savons par expérience que bien des interruptions dans le service pourraient être évitées, si quelques employés, trop souvent pénétrés de l'idée que les dérangements ont toujours lieu sur les lignes, n'en abandonnaient la recherche exclusive aux agents secondaires chargés de la surveillance.

CHAPITRE VII.

Construction des lignes électriques.

191. — Les lignes électriques se divisent en deux catégories, suivant que les fils conducteurs sont placés en l'air, ou qu'ils sont enveloppés d'une matière isolante et placés sous l'eau ou dans un conduit souterrain.

Nous examinerons d'abord les lignes de la première espèce, et nous commencerons par passer en revue les différentes parties qui les constituent.

LIGNES AÉRIENNES.

FILS.

192. **Fils de cuivre.** — On s'est servi, pour la construction des premières lignes électriques, de fils de cuivre de 2 millimètres de diamètre, mais on y a renoncé, bien que la conductibilité du cuivre soit six fois plus grande que celle du fer, parce que le fil de cuivre perd promptement son élasticité; il ne résiste pas à des tractions un peu considérables et les brusques changements de température le font rompre. On ne l'emploie plus que dans quelques cas particuliers et lorsqu'il n'est pas nécessaire de le tendre.

On a remplacé presque partout le fil de cuivre par du fil de fer dont le diamètre varie suivant les pays entre 2 et 5 millimètres.

Les fils employés en France ont 3 ou 4 millimètres de diamètre.

193. **Fils de 4 millimètres de diamètre.** — C'est celui dont on se sert le plus habituellement. Il est assez maniable pour la

construction des lignes et présente une résistance suffisante. Un kilomètre de ce fil pèse environ 100 kilogrammes.

Lorsque le fil est soumis à une traction dans le sens de sa longueur, il s'allonge en vertu de son élasticité et revient à l'état normal dès que l'effort qu'il supportait a cessé d'agir. Il faut toutefois que l'allongement ne dépasse pas une certaine limite qu'on nomme limite d'élasticité, car alors le fer change de nature, il ne reprend pas sa longueur primitive, devient cassant et se rompt facilement.

On peut admettre que le fil de fer de 4 millimètres de bonne qualité peut résister à une tension de 480 kilogrammes. Dans la pratique, la force avec laquelle on le tend ne doit jamais atteindre le quart de cette charge, et, sur les lignes électriques, il convient de ne pas dépasser 80 à 90 kilogrammes.

Pour essayer les fils on en choisit un certain nombre de bouts de 50 mètres de longueur, on les suspend à une extrémité et on les soumet, à l'autre à une traction de 300 kilogrammes pendant vingt-quatre heures; le fil doit, après cette opération, reprendre sa longueur primitive.

194. **Fil de 3 millimètres.** — Lorsque la ligne fait des angles aigus et que les points d'appui ne présentent pas une très-grande résistance, on emploie du fil de fer de 3 millimètres de diamètre dont le kilomètre pèse 60 kilogrammes.

Ce fil ne peut résister qu'à une traction longitudinale de 370 kilogrammes, la tension sur les lignes ne doit pas aller au delà de 50 à 60 kilogrammes.

195. **Fil non recuit.** — Pour les portées qui dépassent 3 à 400 mètres, on est souvent obligé de tendre assez fortement le fil afin de diminuer sa flèche, on emploie dans ce cas du fil non recuit de 3 millimètres dont la résistance est plus grande que celle du fil recuit. On peut, sans danger, le tendre avec une force de 80 kilogrammes. Il est assez cassant, il est peu maniable et ne peut être tordu; c'est pour cette raison qu'on en réserve l'emploi pour les grandes portées.

196. **Galvanisation.** — Le fil de fer, avant d'être livré pour être posé, doit être galvanisé.

Cette opération consiste à le recouvrir d'une légère couche de zinc qui préserve le fer de l'oxydation. On le trempe, à cet effet, en premier lieu dans un bain d'acide sulfurique pour le décaper, et ensuite dans un bain de zinc fondu.

On a proposé en outre de recouvrir les fils d'une ou plusieurs couches de peinture, pour les garantir du contact de l'air et augmenter l'isolement. On a même suivi ce système pour quelques lignes établies en France avec du fil de fer non galvanisé, mais on a pensé que cette précaution offrirait peu d'avantage, car c'est principalement aux points d'appui que se produisent les pertes de courant, et, en ces points, les vibrations que l'air imprime constamment aux fils et le frottement qui en résulte font promptement disparaître cette couche de peinture.

197. **Prix du fil.** — Le prix du fil de fer varie avec le cours du fer. En 1854, le fil de 4 millimètres revenait à 73 francs les 100 kilogrammes et celui de 3 millimètres à 78 francs les 100 kilogrammes, en comprenant dans ces prix la galvanisation qu'on peut évaluer à 12 francs par 100 kilog. En 1855, il y a eu une hausse considérable sur le fer; le fil de fer galvanisé de 4 millimètres vaut actuellement 82 fr. les 100 kilogrammes, celui de 3 millimètres, 87 francs.

198. **Réunion des bouts de fil.** — Le fil de fer est livré pour la construction des lignes sous forme de couronnes qui pèsent environ 20 kilogrammes. Chaque bout a donc à peu près 200 mètres de longueur; pour les réunir, on emploie différents moyens.

La méthode suivie en France est la plus simple; elle consiste à juxtaposer les deux extrémités voisines sur une longueur de 15 ou 20 centimètres, après avoir frotté la surface pour la décaper, à serrer dans deux étaux d'une forme spéciale (mâchoires à tordre) les deux fils et à tordre assez fortement (*fig.* 96). On obtient ainsi une torsade qui offre une résistance au moins égale à celle du fil. On coupe avec une lime tiers-point les bouts qui dépassent les étaux.

Dans quelques pays, on soude en outre les torsades en les plongeant dans un bain d'étain, afin de rendre le contact plus parfait.

On ne doit pas tordre les fils avec trop de force, pour ne pas compromettre leur solidité et écailler la surface galvanisée.

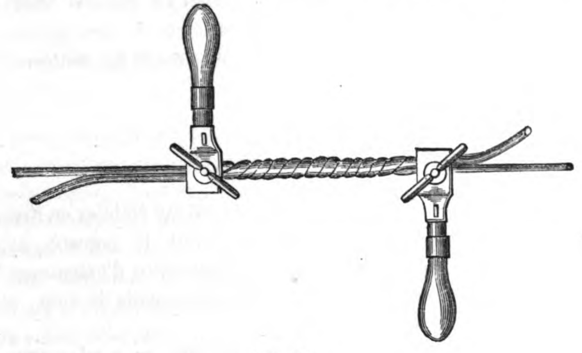


Fig. 96.

Quelquefois, on réunit les fils en engageant les deux extrémités voisines dans de petits cylindres en cuivre ou fer galvanisé, nommés serre-fils, et en les serrant fortement au moyen de vis.

On emploie également ces serre-fils, quand on veut se ménager un moyen de couper facilement la communication pour introduire un galvanomètre ou un appareil dans le circuit.

Le fil qui n'a pas été recuit est trop cassant pour être tordu ; on croise les deux bouts qu'on veut réunir sur une longueur de 10 à 15 centimètres, en pliant les extrémités en crochet et à angle droit ; on fait alors une ligature avec du petit fil de laiton qu'on enroule en hélice. On soude quelquefois cette ligature.

Le fil de fer subit à la longue une modification dans sa nature, par suite des vibrations continuelles que le vent lui imprime et, peut-être aussi, par suite du passage du courant électrique. Il devient aigre, mais comme il n'est soumis à aucun choc, on n'a pas en général à craindre de rupture si la tension ne dépasse pas les limites que nous avons indiquées.

199. **Fil recouvert de gutta-percha.** — Pour traverser l'intérieur des tunnels, on se sert de fils recouverts de gutta-percha. (*Voir* les lignes souterraines.)

On a reconnu que l'enveloppe isolante s'altère rapidement au contact de l'air ; au bout de deux ou trois ans, elle n'isole plus suffisamment, et, comme les tunnels sont en général humides et qu'il n'est pas toujours possible d'écarter le fil des parois, on doit en général faire passer les lignes au-dessus des souterrains.

POTEAUX.

200. **Poteaux.** — Les premières lignes ont été établies en France le long des chemins de fer. On se servait de poteaux ayant 6 mètres de hauteur, et quand il était nécessaire d'exhausser les fils, pour les passages à niveau, les changements de voie, etc., on prenait des poteaux de 9 mètres.

Lorsqu'on a établi des lignes sur les routes, on a adopté $7^m,50$ comme hauteur minimum ; pour les traversées de villes et de villages, pour les croisements de routes, on choisit suivant les besoins des poteaux de 9 mètres, $9^m,50$, 10 et même 12 mètres de hauteur.

Les bois qu'on emploie en France sont des brins de pin ou de sapin ; pour quelques lignes, situées dans des conditions géographiques spéciales, on a pris des aulnes, des peupliers et quelques autres essences de bois blanc.

Les dimensions de ces poteaux pour une hauteur déterminée sont assez variables, l'administration ne pouvant que fixer un diamètre minimum à ses fournisseurs ; quant au prix, ils peuvent être très-différents suivant les contrées dans lesquelles on est obligé de les choisir pour diminuer les frais de transport.

Voici les dimensions minimum admises en France pour des poteaux de diverses hauteurs, et les prix auxquels on a pu s'en procurer en Alsace dans le courant de l'année 1856 :

HAUTEUR des poteaux.	DIAMÈTRE à 1 mètre de la base.	DIAMÈTRE au sommet.	PRIX.
12^m	$0^m,26$	$0^m,12$	15^f
11^m	$0^m,24$	$0^m,12$	12^f

HAUTEUR des poteaux.	DIAMÈTRE à 1 mètre de la base.	DIAMÈTRE au sommet.	PRIX.
9m 50	0m,20	0m,10	4f 25
8m	0m,18	0m,10	3f 25
7m 50	0m,16	0m, 8	3f
6m	0m,12	0m, 8	2f

Dans les pays où le bois est assez bon marché, on se borne à carboniser les poteaux à la partie inférieure ou à les enduire de goudron jusqu'à un mètre au-dessus du sol.

En France, on leur fait subir une préparation particulière qui consiste à les imprégner d'une dissolution de sulfate de cuivre.

201. **Injection des poteaux.** — Le bois, quand il est exposé à l'air et à l'humidité, pourrit promptement. Cette altération tient aux substances solubles que contient le bois, qui fermentent sous l'action de l'humidité et de la chaleur, se décomposent et forment des acides, et aussi aux vers et aux insectes qui s'alimentent de ces substances ayant seules les propriétés alimentaires, et rongent les fibres ligneuses.

On a pensé qu'en faisant pénétrer dans le bois une dissolution d'un sel métallique pouvant chasser la séve, précipiter ces substances et former dans l'intérieur du bois un composé inaltérable, les principales causes de la destruction étant enlevées, il pourrait se conserver indéfiniment dans les circonstances les plus défavorables.

C'est le docteur Boucherie qui s'est occupé le premier d'une manière suivie de ces questions; après un grand nombre d'expériences, il a reconnu que le sel métallique qui donne les meilleurs résultats est le sulfate de cuivre[1]. La dissolution la plus convenable doit contenir une partie en poids de sulfate sur 100 parties d'eau.

1. Le docteur Boucherie a pris pour faire ses expériences, non des pièces de bois dont la durée, même à l'état naturel, est assez longue, mais de la toile de coton qui, soumise à l'influence des agents atmosphériques, se détruit rapidement ; il a essayé avant d'arriver au sulfate de cuivre différents sels d'un prix moins élevé : le pyrolignite de fer, le sulfate de zinc, l'acétate de plomb, etc., mais aucun d'eux

Si l'on se bornait à tremper le bois dans cette dissolution, le but ne serait pas atteint; le sulfate doit pénétrer dans tous les pores, et se substituer à la séve et aux liquides contenus dans le bois.

Un mètre cube de bois doit absorber, pour être injecté convenablement, environ 5 kilog. 50 de snlfate de cuivre.

Toutes les essences de bois ne sont pas susceptibles de subir cette préparation. Un arbre est formé de deux parties distinctes, le cœur et l'aubier; l'aubier seul est traversé par la dissolution; aussi, le chêne, dans lequel le cœur est extrêmement développé, ne peut-il être injecté. Les essences qui conviennent le mieux sont le pin, le sapin, l'aulne, le peuplier et, en général, tous les bois blancs qui sont presque entièrement formés par l'aubier.

La pénétration du sulfate peut s'effectuer de différentes manières; elle se fait plus ou moins rapidement suivant la nature du bois, son âge et l'époque de l'année. C'est au moment du mouvement ascendant de la séve qu'elle a lieu avec le plus de facilité. Les moments les plus défavorables sont les mois de juillet et d'août, et l'hiver lorsqu'il gèle.

Cette préparation du bois est une des plus belles et des plus utiles découvertes de notre siècle, et l'administration des lignes télégraphiques de France a contribué à la vulgariser en adoptant, dès le principe, les procédés de M. Boucherie pour l'établissement de ses lignes électriques.

202. — Les chantiers d'injection qui doivent avoir une assez grande étendue sont établis à proximité des forêts où se fait l'abatage des arbres, dans un endroit où l'on puisse se procurer facilement de l'eau.

Les bois coupés et ébranchés sont transportés au chantier pour y être préparés. L'abatage ne doit se faire qu'au fur et à mesure

n'a donné des résultats comparables à ceux qu'on a obtenus avec le sulfate de cuivre.

L'injection au sulfate de cuivre peut être employée non-seulement pour la conservation des bois, mais encore pour celle des autres substances végétales; on peut l'utiliser, par exemple, pour préserver les filets de pêche.

des besoins, afin que l'arbre ne reste pas plus de trois ou quatre jours avant d'être injecté.

Dans le principe on faisait pénétrer le liquide par son propre poids aidé de la force ascensionnelle de la séve ; dans les nouveaux chantiers, on place le réservoir à une certaine hauteur, de façon à donner au liquide une pression considérable.

203. — La première méthode est encore en usage dans plusieurs chantiers de l'administration, elle est assez simple et peut convenir quand on a seulement un petit nombre de poteaux à préparer.

On établit (*fig.* 97) pour l'injection des poteaux dont la dimen-

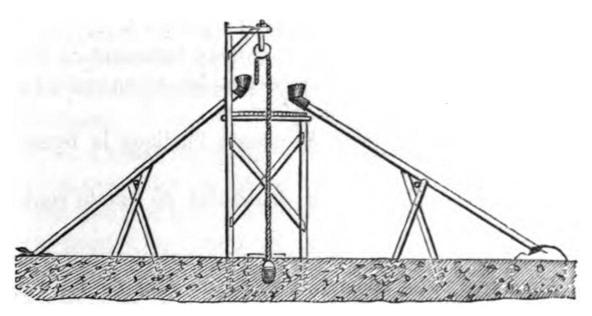


Fig. 97.

sion dépasse 7^{m},50 en échafaudage de 4 mètres de hauteur, de 1 à 2 mètres de largeur et dont la longueur varie suivant le nombre des poteaux qu'on veut préparer simultanément. Contre les deux côtés de cet échafaudage, on appuie les poteaux en leur donnant l'inclinaison convenable pour que la partie supérieure soit à portée de la main. Le pied repose contre un petit talus en terre dans lequel on ménage une rigole en pente vers l'une des extrémités du chantier, afin de pouvoir recueillir le liquide, qui sort des poteaux, dans des tonneaux spéciaux.

A l'une des extrémités de l'échafaudage se trouve une potence avec une poulie et un seau au moyen duquel on puise la dissolution dans un réservoir placé au niveau du sol. Les poteaux sont dressés munis de leur écorce; le sommet de l'arbre se place en

bas et le gros bout contre l'échafaudage, le mouvement du liquide devant toujours s'effectuer du pied au sommet.

On scie l'arbre à la base supérieure, en enlevant une rondelle d'un ou deux centimètres d'épaisseur pour enlever le dépôt de résine qui s'opère pendant le transport au chantier, puis on donne à cette base la forme d'un tronc de cône.

On lui adapte alors un récipient en plomb formé de deux troncs de cônes réunis, l'axe du cône supérieur étant toujours vertical. Ces calottes, faites en plomb de deux centimètres d'épaisseur, doivent être parfaitement lutées à l'arbre pour que le liquide ne puisse passer.

Dans ce but, on entoure le pied d'argile plastique, avant de placer le récipient en plomb qu'on enfonce fortement de cinq ou six centimètres. Le calottage des poteaux se fait ordinairement avant qu'ils soient dressés contre l'échafaudage.

Une fois qu'ils sont installés comme l'indique la figure, on commence l'injection.

On remplit les calottes de la dissolution de sulfate contenue dans le réservoir.

Comme nous l'avons dit, le liquide doit contenir 1 kilogramme de sulfate pour 100 kilogrammes d'eau. Afin de faire facilement cette dissolution, on prépare d'abord, dans un tonneau spécial, une liqueur concentrée de 10 kilogrammes de sulfate pour 100 litres d'eau. Il suffit de prendre dans ce tonneau dix parties pour cent d'eau qu'on verse dans le réservoir situé au pied de l'échafaudage. A mesure que le liquide contenu dans les calottes en plomb s'écoule, on le remplace; l'ouvrier chargé de ce travail doit faire pendant la nuit plusieurs tournées, pour ne jamais laisser vides les cônes en plomb.

Au bout de quelques heures, on voit la séve couler dans la rigole au pied du talus, mais l'injection n'est pas terminée; c'est seulement lorsqu'on voit couler le sulfate, que le liquide a pu imprégner le poteau dans toute sa longueur. L'injection d'un poteau de 6 mètres dure de 36 à 48 heures, celle d'un poteau de 9^{m},50 de 5 à 6 jours.

Il arrive souvent qu'au début, l'opération ne marche pas. Cet

arrêt provient d'une accumulation de résine à la base du poteau. On enlève la calotte, on scie de nouveau le poteau à 2 ou 3 centimètres et on replace la calotte. On peut empêcher cet arrêt dans l'opération, en laissant reposer le pied du poteau, quand il arrive au chantier, pendant sept ou huit heures dans une dissolution de sulfate de cuivre. Au moment de l'injection, on scie une rondelle à la base et on place la calotte du poteau. Le liquide qui sort des rigoles peut être employé pour cette opération.

On est assuré que le poteau est injecté, quand, en donnant un coup de hache à la tête du poteau, on voit apparaître la teinte verdâtre du sulfate.

On peut aussi employer, pour reconnaître si l'injection est bien faite, le cyanure de potassium ; quand on frotte avec ce réactif un point du poteau débarrassé de l'écorce, la partie frottée doit se colorer en rouge.

204. — La nouvelle méthode employée pour l'injection est de beaucoup préférable ; la main-d'œuvre est moindre, l'injection se fait avec une plus grande rapidité, et la dissolution de sulfate de cuivre, pressée avec une force considérable, pénètre dans toutes les parties du bois et chasse plus complétement la séve.

Le réservoir B (*fig.* 98) est placé sur un échafaudage à une hauteur de 7 à 8 mètres ; il est alimenté par des tonneaux *qqq* dans lesquels on prépare la dissolution de sulfate qu'on fait monter à l'aide d'une pompe ou au moyen d'un seau.

Un tuyau en plomb ou en cuivre part du réservoir et aboutit à un autre tuyau semblable, disposé horizontalement, dont la longueur est calculée d'après le nombre des poteaux qu'on veut injecter, 30 mètres environ pour 100 poteaux. Sur ce tube viennent s'embrancher des tuyaux en gutta-percha terminés par une canule en cuivre ou en bois par laquelle le liquide s'introduit dans les poteaux.

Les poteaux à injecter *p,p,p,* sont rangés tous parallèlement dans une direction perpendiculaire au tube principal, le sommet repose à terre sur le bord de la rigole dans laquelle doit s'écouler le liquide, la base appuie sur une traverse élevée de 1 mètre au-

dessus du sol, de façon à permettre aux ouvriers d'exécuter l'opération du calottage quand les poteaux sont en place.

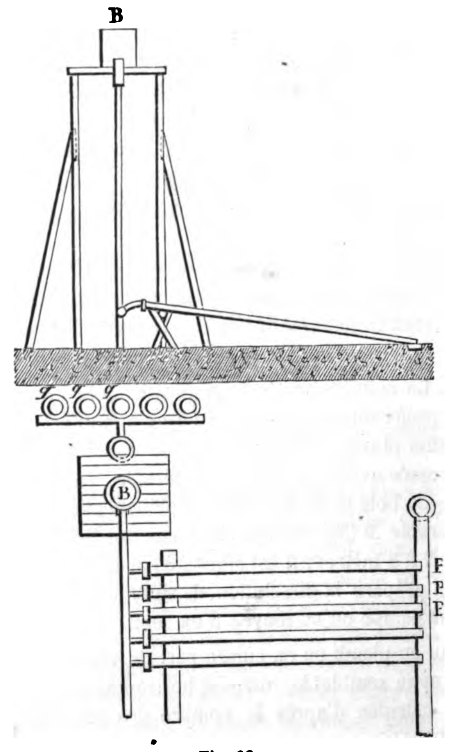


Fig. 98.

Pour calotter les poteaux, on place sur la face supérieure, qui correspond au pied de l'arbre, après avoir enlevé à la scie une petite rondelle, un plateau en cœur de chêne (*fig.* 99) qu'on presse fortement en interposant entre ce plateau et la base du poteau, une bande en caoutchouc.

Cette opération est évidemment la plus importante, car il im-

porte que le liquide soumis à une forte pression ne puisse sortir par la partie supérieure du poteau.

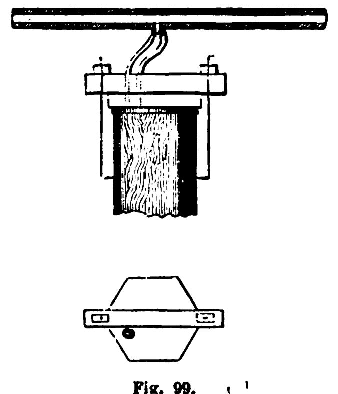


Fig. 99.

On serrait primitivement ce plateau au moyen d'une forte vis en cuivre [1] qui s'engageait dans le poteau; maintenant on applique sur le plateau une pièce de bois traversée par deux crochets, munis de boulons, dont on enfonce les pointes dans le poteau; en serrant les boulons on exerce une forte pression sur le plateau et la bande de caoutchouc. On évite toute fuite en creusant dans la tête du poteau une cavité circulaire dans laquelle on place la bande de caoutchouc.

La canule, reliée au tuyau de distribution par un tube en gutta-percha, s'introduit dans le plateau de chêne muni d'un trou à cet effet.

Le liquide, ainsi soumis à la base du poteau à une pression de

1. Toutes les pièces métalliques qu'on emploie dans un chantier, telles que vis, tuyaux, canules, robinets, etc., doivent être en cuivre ou en plomb; si elles étaient en fer, elles seraient altérées par le sulfate de cuivre. Pourtant, comme le cuivre est peu résistant, on le remplace quelquefois par du fer qu'on recouvre préalablement d'une couche de cuivre par les procédés galvano-plastiques. Le cœur de chêne ne peut être traversé par le sulfate, c'est pourquoi on l'emploie pour le calottage des poteaux.

7 à 8 mètres de hauteur, pénètre avec une grande force dans le bois, et l'on voit, au moment même où l'on établit la communication avec le réservoir, la séve sortir par l'autre extrémité.

L'injection d'un poteau télégraphique de 8 mètres dure en moyenne trois jours par ce procédé.

Pour que l'injection soit complète, chaque poteau doit absorber une quantité de sulfate de cuivre proportionnelle à son volume et calculée à raison de 5 kilogr. 5 par mètre cube.

205. — Lorsque l'injection est terminée, on ferme les robinets, on enlève la calotte et on place le poteau sur des chevalets pour procéder à l'écorçage; on abat les nœuds avec la hache et on enlève à la plane l'écorce de manière à le rendre aussi régulier que possible.

Il est bon de ne pas planter le poteau immédiatement après l'injection, car il absorbe, en même temps que du sulfate de cuivre, une grande quantité d'eau, et s'il était placé verticalement avant d'être sec, une partie de cette eau, qui contient en suspension le sulfate de cuivre, descendrait en vertu de son poids et entraînerait le sel.

On peut évaluer l'augmentation de prix occasionnée par l'injection, en comprenant le prix du sulfate, les frais de chantier, de surveillance, etc., à environ,

2 fr. 30 c. pour les poteaux de $9^m,50$
1 fr. 50 c. pour ceux de $7^m,50$
1 fr. pour ceux de 6^m.

206. **Plantation des poteaux.** — Pour planter les poteaux, on enterre à $1^m,50$ de profondeur ceux de 6^m et de $7^m,50$ et à 2^m ceux dont la hauteur varie de 8 à 10^m. Un simple trou fait dans le sol à la pelle et à la pioche suffit en général; la terre qui sert à combler le trou doit être damée avec soin par couche de 20 ou 30 centimètres.

Dans le rocher on perce à la pince ou à la mine, un trou de 50 ou 60 centimètres de profondeur et on scelle à la chaux le pied du poteau.

Contre les murs et contre les maisons, on peut les fixer au

moyen de brides en fer scellées dans la maçonnerie. Une de ces brides doit toujours être placée aussi haut que l'état des lieux le permet.

Cette plantation des poteaux revient, dans le terrain ordinaire, à 1 fr. pour les poteaux de 6 mètres, 1 fr. 50 pour ceux de $7^m,50$, 2 fr. pour ceux de $9^m,50$. Le prix augmente, en général, de moitié quand le terrain est difficile à creuser. Quand on doit sceller à la chaux le pied des poteaux, le prix de pose monte en moyenne à 6 francs.

On termine les poteaux en pointe pour faciliter l'écoulement de l'eau, et on leur donne deux couches de peinture dont l'une au moins est appliquée après la plantation. Le prix varie, suivant la dimension du poteau, entre 1 et 2 francs.

Voici en résumé le prix moyen de revient d'un poteau télégraphique tout planté :

	POTEAU de 6 mètres.	POTEAU de $7^m,50$		POTEAU de $9^m,50$	
Prix d'achat et de transport au chantier.	2 fr.	3 fr.		4 fr.	25
Injection.	1	1	50	2	30
Plantation.	1	1	50	2	
Peinture.	1	1	50	2	
Totaux. . .	5	7	50	10	55

Il faut à ce total ajouter le prix du transport depuis le dépôt jusqu'au lieu de plantation, qui varie avec les moyens de transport, la distance, la manière dont la distribution à pied d'œuvre peut se faire, etc.

On ne peut encore apprécier la durée des poteaux injectés. Les premiers poteaux, préparés par les procédés du docteur Boucherie et qui ont été plantés sur la ligne du Nord en 1848, sont presque tous encore en assez bon état, bien qu'à cette époque les procédés d'injection fussent loin d'être aussi parfaits qu'ils le sont maintenant, tandis que les poteaux non injectés qui ont été plantés sur quelques lignes (entre Nancy et Metz par exemple) ont dû être remplacés au bout de trois ans.

207. **Consoles, planchettes, etc.** — Dans les villes et dans les villages, il n'est pas toujours possible de planter des poteaux, leur effet est d'ailleurs disgracieux ; on fixe les fils à d'autres supports dont la forme est variable suivant l'état des lieux.

Lorsque la ligne doit passer devant des croisées, on pose les appareils de suspension contre des consoles formées de deux tiges en fer scellées dans la pierre à la chaux ou au soufre, à $0^m,25$ de profondeur ; une double volute en fer ou en fonte, munie d'un petit bras à scellement, est placée au-dessous de la tige inférieure. Le potelet tient par des écrous aux deux grandes tiges dont l'écartement dépend du nombre de fils à placer. Toutes les fois que les fils ne sont pas dans le même plan vertical des deux côtés de la console, on doit la soutenir par un arc-boutant pour l'empêcher de se déverser.

Le prix de ces consoles varie, suivant leurs dimensions, entre 40 et 60 francs.

Quand il n'est pas nécessaire d'éloigner les fils des bâtiments, on fixe simplement, par de forts boulons en fer, une planchette contre le mur sur lequel on veut avoir un point d'appui.

Pour faire passer les fils au-dessus des maisons, on applique contre une des façades un potelet retenu par deux brides et qui dépasse le toit de la longueur convenable.

Enfin, dans certains cas, on est obligé d'employer des colonnes en fonte dont la hauteur est la même que celle des poteaux. Ces colonnes n'offrent pas une grande résistance dans le sens perpendiculaire à leur longueur ; lorsque les fils ne sont pas en ligne droite, il est nécessaire de les maintenir par des haubans ou des tiges de fer.

ISOLATEURS.

208. — Les fils conducteurs ne seraient pas suffisamment isolés s'ils étaient directement attachés aux poteaux, car la communication avec la terre, bien que très-faible, ayant lieu en un grand nombre de points, il se formerait des dérivations du courant qui

rendraient, surtout par les temps de pluie, la transmission impossible. On empêche tout contact entre les fils et les poteaux en les suspendant au moyen de supports faits d'une matière isolante telle que le verre, le grès ou la porcelaine.

La forme de ces supports est arbitraire, ils doivent présenter une assez grande résistance pour ne pas se briser trop facilement, il convient en outre qu'ils soient disposés de façon à former une sorte d'abri pour que l'eau ne puisse adhérer et faire communiquer le fil avec le poteau.

Il y a deux espèces de supports, les uns servent simplement à soutenir le fil, les autres, placés seulement de distance en distance, sont munis d'appareils spéciaux qui permettent de les tendre.

209. **Supports cloches.** — Les supports, en France, sont formés d'une cloche en porcelaine (*fig.* 100) munie de deux oreilles.

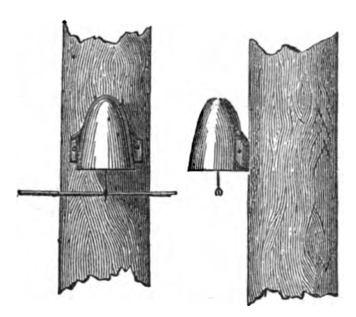


Fig. 100.

Chaque oreille est percée d'un trou que traverse une vis de $0^m,07$ de longueur, qui pénètre dans le bois de $0^m,05$ environ. Une tige en fer galvanisé de 7 millimètres de diamètre est scellée au fond de la cloche; elle est terminée par un crochet dans lequel passe le fil.

Les fils, qui sont soumis à des vibrations presque continuelles causées par le vent, s'usent un peu aux points où ils touchent les crochets; cette usure est trop peu considérable pour qu'il soit nécessaire d'en tenir compte en général; il est d'ailleurs facile de

déplacer de temps en temps les fils pour changer les points de contact. On a essayé, pour y remédier, d'employer des crochets à double tour, mais il en résulte un frottement qui empêche souvent le fil de glisser librement.

210. **Anneaux.** — Lorsque le fil doit exercer sur la suspension une traction un peu considérable, on remplace les cloches, dont les crochets en fer pourraient se tordre ou se desceller, par des anneaux en porcelaine (*fig.* 101, n° 1) percés, aux extrémités, de deux trous que traversent les vis.

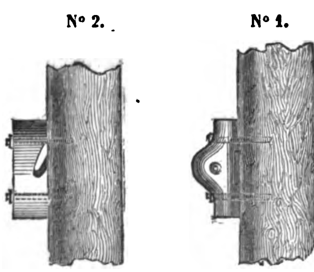


Fig. 101.

Ces anneaux isolent moins bien que les supports à cloche ; ils sont d'un usage peu commode, car le fil doit être passé dans l'anneau avant la pose. On ne les place que dans les angles un peu aigus.

211. **Supports à fente.** — Nous citerons encore, pour mémoire seulement, les supports à fente qui ont servi à l'établissement des premières lignes. Ils diffèrent des anneaux en ce qu'ils sont ouverts d'un côté (*fig.* 101, n° 2) ; la fente était ordinairement placée contre le poteau. Ils ont donné de mauvais résultats ; les pertes de courant étaient considérables et la communication ne pouvait avoir lieu, dès que le temps était humide, qu'entre des points peu éloignés.

212. **Poulies d'arrêt.** — Pour arrêter es fils d'une manière invariable, on emploie des poulies en porcelaine (*fig.* 102, n° 1) que l'on fixe à plat sur le poteau par une forte vis en fer galvanisé. On enroule plusieurs fois le fil autour de la portion évidée en le

serrant fortement et en tordant l'extrémité libre sur la partie tendue.

213. **Cloches d'arrêt.** — On remplace quelquefois les anneaux et les poulies d'arrêt par des cloches dont la partie supérieure est une poulie horizontale (*fig.* 102, n° 2). Chaque cloche est soudée à

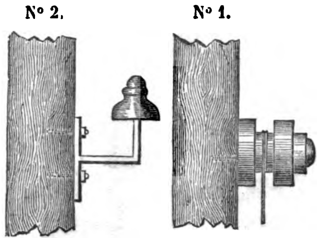


Fig. 102.

l'extrémité d'une tige de fer galvanisé, recourbée à angle droit, qui tient au poteau par une plate-bande en fer. Le fil s'enroule autour de la gorge, ou est simplement retenu par un fil à ligature qui embrasse la tête de la cloche.

Ces supports, semblables à ceux qu'on emploie en Allemagne, offrent moins de résistance que les poulies et les anneaux, mais l'isolement est peut-être plus complet.

214. **Tendeurs et supports de tendeurs.** — L'appareil au moyen duquel on tend les fils comprend : 1° un support en porcelaine qui se fixe solidement contre le poteau par deux grosses vis à tête carrée (*fig.* 103) ; 2° deux treuils en fer galvanisé, dont l'un porte une forte lame qui traverse l'ouverture du support, et l'autre deux lames plus courtes entre lesquelles on passe la première ; une clavette réunit les deux parties du tendeur. Les fils s'engagent dans deux petits trous sur les treuils qu'on tourne avec une clef. Un déclic arrête le mouvement de chaque treuil.

La communication d'un fil à l'autre se fait par l'intermédiaire des treuils et des lames en fer galvanisé. Le contact est toujours bien établi, et jusqu'à présent on a jugé inutile de souder le fil aux tendeurs ou d'établir un fil de jonction supplémentaire entre les deux fils réunis par le tendeur.

Le support, au lieu d'être à recouvrement, comme dans la figure 103 est quelquefois rectangulaire. Le tendeur est moins bien garanti de la pluie, mais il est plus solidement fixé.

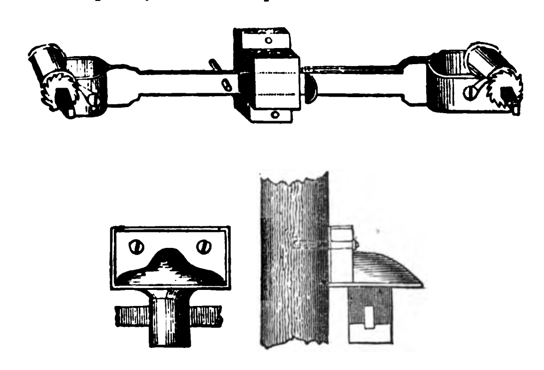


Fig. 103.

On peut aussi lui donner la forme d'une grosse cloche, semblable à celle de la figure 100, au fond de laquelle on scelle une lame en fer galvanisé munie d'une fente dans laquelle se passe le tendeur.

Quand les fils ne doivent pas être dans le même plan des deux côtés du support, on emploie des tendeurs à charnière; chacun des treuils se place de lui-même dans le plan vertical du fil auquel il est attaché.

Enfin, lorsque le fil ne doit être tendu que d'un seul côté, on se sert de tendeurs qui n'ont qu'un seul treuil, mais dont le support doit être assez solide pour résister à la traction qu'il supporte.

N° 215. — Voici les prix de ces divers appareils de suspension :

Supports à crochets, la pièce.	» fr.	30 c.
Supports anneaux, *id.*	»	24
Poulies d'arrêt, *id.*	»	20
Tendeurs galvanisés à deux treuils, *id.* . . .	3	26
Tendeurs galvanisés à un seul treuil, *id.* .	2	66
Tendeurs galvanisés à charnière à 2 treuils, *id.*	4	11

Supports de tendeurs à recouvrement, *id.* .	1	30
Supports carrés de tendeurs, *id.*	»	45
Supports cloches de tendeurs avec la tige scellée, *id.*	1	70
Vis galvanisées pour supports, cloches et pour anneaux, *id.*	»	03
Vis galvanisées à tête carrées pour supports de tendeurs, *id.*	»	24

INSTALLATION DES LIGNES.

216. — La construction des lignes électriques est en général assez simple.

La première opération consiste à faire planter les poteaux aux places déterminées d'avance, en choisissant avec soin les plus gros pour les courbes et pour les points où doivent se trouver les tendeurs. On fait en même temps poser les consoles et les appuis reconnus nécessaires pour la traversée de villes ou de villages.

12 hommes doivent planter environ 60 à 80 poteaux par jour dans le terrain ordinaire.

L'atelier de pose des fils suit à plusieurs jours de distance celui de la plantation ; il se compose, pour un seul fil, de cinq hommes et d'un chef d'atelier.

Le fil et les appareils de suspension étant distribués d'avance, un premier ouvrier déroule le fil en faisant rouler les couronnes sur le sol ; il est muni de deux mâchoires à tordre et fait les torsades de jonction (n° 198) ; deux ouvriers suffisent pour poser les cloches ou les anneaux et y suspendre le fil. Le quatrième ouvrier place les tractions ; il commence par fixer au poteau le support en porcelaine et le tendeur ; il saisit alors le fil des deux côtés de la traction avec deux petits étaux d'une forme particulière, nommés mâchoires à tendre. Chaque mâchoire (*fig.* 104) porte une gorge canelée dans laquelle l'ouvrier engage le fil qu'il serre fortement avec un écrou ; lorsqu'il a arrêté le fil avec ses deux mâ-

choires, il passe dans les anneaux dont elles sont munies, les deux crochets d'une paire de moufles et tire le cordage de façon

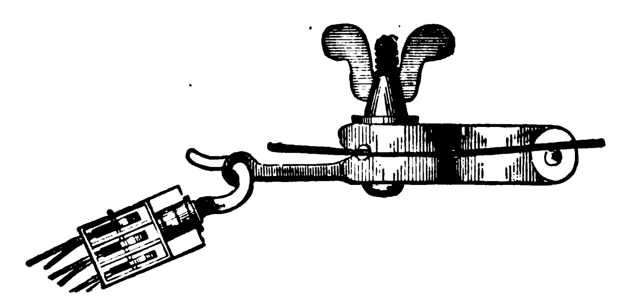


Fig. 104.

à rapprocher les deux étaux. Il peut alors couper le fil et le placer sur les deux treuils du tendeur. Il ne tend que très-peu le fil qui est arrêté d'un seul côté.

Le dernier ouvrier suit à 2 ou 3 kilomètres de distance ; il donne au fil sa tension normale en tournant peu à peu et successivement les deux treuils.

Il reconnaît, d'après la flèche du fil, quand la tension est convenable ; le tendeur doit se trouver en équilibre sur son support si le fil est également tendu des deux côtés.

Un atelier de cinq hommes peut poser 6 à 7 kilomètres de fil par jour.

217. — Quand la ligne doit avoir plusieurs fils on les pose tous simultanément. On place les suspensions alternativement des deux côtés des poteaux, excepté dans les angles très-aigus où il est préférable de les mettre du même côté pour que le fil soit retenu par le poteau, si un support vient à se briser.

Quant à la distance des fils, elle dépend de leur nombre. On admet pour distance minimum 25 ou 30 centimètres. Les chances de mélange diminuent évidemment avec cette distance.

Sur les chemins de fer, on place les poteaux sur le bord de la

voie ; la distance entre le fil et les rails doit toujours être au moins de $1^m,50$. On plaçait primitivement les poteaux à la distance moyenne de 50 mètres ; maintenant, les poteaux étant plus élevés dans les lignes droites, on les plante à 75, 80 et même 100 mètres de distance ; on les rapproche dans les courbes surtout lorsque le fil tend à être entraîné du côté de la voie.

Sur les routes ordinaires, on place la ligne sur le bord de façon à gêner le moins possible la circulation en se laissant guider, pour déterminer l'emplacement des poteaux, par la largeur de la route, le développement des plantations qui peuvent la border, etc., etc.

L'écartement adopté dans le principe pour les poteaux était de 75 mètres, et jamais l'on ne s'écartait du tracé de la route. On place actuellement les poteaux à 80 et 100 mètres de distance dans les lignes droites, et l'on profite de tous les accidents de terrain qui permettent de diminuer le nombre des supports, en franchissant les vallées par des portées de 4 à 500 mètres.

Pour les traversées de villes et de villages on cherche les points d'appui les plus convenables et les plus résistants, et c'est dans ce choix que réside toute la difficulté d'établissement des lignes électriques.

Il y a deux avantages à diminuer le nombre des points de suspension du fil ; l'un consiste dans l'économie qui en résulte, et l'autre dans la diminution des pertes de courant qui ont surtout lieu au contact du fil et des isolateurs.

218. — Lorsqu'on détermine le tracé d'une ligne, on doit toujours s'assurer que les trois conditions suivantes sont remplies :

1° Le fil ne doit pouvoir rencontrer sur son parcours aucun obstacle ;

2° La tension du fil ne doit jamais dépasser une certaine force à partir de laquelle il peut y avoir danger de rupture. Cette tension est de 90 kilogrammes pour le fil de 4 millimètres ; 60 kilogrammes pour celui de 3 millimètres et 80 kilogrammes pour le fil non recuit de 3 millimètres ;

3° Les points d'appui doivent présenter une résistance suffisante.

Nous reviendrons plus loin sur ces trois conditions.

Il faut, en outre, pour les lignes importantes, que les travaux

d'entretien puissent s'exécuter facilement; si, par exemple, la ligne passait au-dessus de profondes vallées, il pourrait arriver que, en cas de rupture du fil, la réparation exigeât plusieurs jours, elle pourrait même devenir impossible dans certaines saisons. Bien que ces accidents soient assez rares, le service pourrait être quelquefois compromis

219. — On évite ordinairement de faire passer les fils dans l'intérieur des souterrains.

Lorsqu'il est matériellement impossible de planter des poteaux au-dessus ou de faire un détour pour établir une ligne ordinaire, on fixe, le long des parois, des fils recouverts de gutta-percha en les suspendant à l'aide d'anneaux ou de cloches pour les écarter des murs. Quand les dimensions du souterrain ne permettent pas cet écartement, on suspend simplement les fils au moyen de petits crochets ou bien on les enferme dans une rigole pratiquée dans le pied-droit de la voûte.

Pour traverser les fleuves ou les rivières, quand il n'y a pas de pont fixe et que les fils peuvent être atteints par les mâts des bateaux, au lieu d'exhausser les fils avec des poteaux suffisamment élevés, on préfère souvent déposer au fond de l'eau un câble formé par la réunion d'un certain nombre de fils conducteurs recouverts de gutta-percha.

Le prix de revient d'un kilomètre de ligne électrique est tellement variable, qu'il est impossible de faire un devis un peu général.

On admet pour les grandes lignes à deux fils, comme prix moyen, 500 francs par kilomètre, en comprenant dans cette somme l'installation des bureaux, l'achat des appareils et toutes les dépenses accessoires.

220. **Flèche des fils.** — Lorsqu'un fil est suspendu entre deux points fixes, son poids lui fait décrire une courbe qu'on nomme, en mécanique, chaînette (*fig.* 105). Si les deux points d'appui sont à la même hauteur, le point le plus bas de la courbe se trouve à égale distance des deux points de suspension, et l'on nomme flèche du fil la différence de hauteur CD entre le point le plus bas et les points fixes.

Cette flèche est d'autant plus faible que le fil est plus tendu ; elle est à peu près en raison inverse de la tension quand elle est

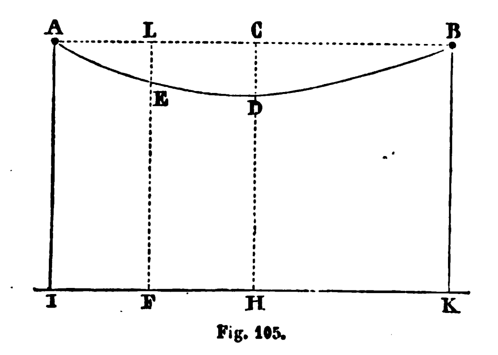


Fig. 105.

très-petite par rapport à la distance des points d'appui. Pour une même tension elle est sensiblement proportionnelle au carré de la distance des supports; ainsi la flèche étant 1 mètre pour une distance de 50 mètres, sera 4 mètres pour une distance de 100 mètres, 9 mètres pour 150 mètres, ainsi de suite. Les deux tableaux suivants indiquent les longueurs, exprimées en mètres, des flèches pour différentes distances entre les points de suspension et diverses tensions des fils [1].

1. *Voir* la note 14.

1° FIL DE 4 MILLIMÈTRES DE DIAMÈTRE. — POIDS D'UN MÈTRE DE FIL, 0k1.

Distance des supports exprimée en mètres.	TENSION DES FILS EXPRIMÉE EN KILOGRAMMES.									
	30	40	50	60	70	80	90	100	150	200
50	1.04	0.78	0.62	0.52	0.44	0.39	0.34	0.31	0.20	0.15
75	2.34	1.75	1.40	1.17	1.00	0.88	0.79	0.70	0.46	0.35
80	2.66	2.00	1.60	1.33	1.14	1.00	0.88	0.80	0.53	0.40
100	4.16	3.12	2.50	2.08	1.80	1.56	1.38	1.25	0.83	0.62
150	9.40	7.00	5.60	4.70	4.00	3.50	3.00	2.80	1.90	1.40
200	16.60	12.50	10.00	8.30	7.10	6.20	5.50	5.00	3.30	2.50
250	26.00	19.50	15.60	13.00	11.10	9.70	8.60	7.80	5.20	3.90
300	38.00	28.00	22.50	18.70	16.00	14.00	12.50	11.20	7.70	5.60
400	68.00	51.00	40.00	33.50	28.50	25.00	22.20	20.00	13.30	10.00
500	110.00	81.00	63.00	52.00	45.00	39.00	34.40	31.20	20.80	15.60
600	162.00	117.00	93.00	76.00	64.00	56.00	50.00	45.00	30.00	22.00
800	306.00	216.00	168.00	138.00	117.00	102.00	89.00	81.00	53.00	40.00
1000	516.00	353.00	271.00	218.00	186.00	161.00	142.00	127.00	83.00	62.00

2° FIL DE 3 MILLIMÈTRES DE DIAMÈTRE. — POIDS D'UN MÈTRE DE FIL, 0k06.

Distance des supports exprimée en mètres.	TENSION DES FILS EXPRIMÉE EN KILOGRAMMES.									
	30	40	50	60	70	80	90	100	150	200
50	0.62	0.46	0.37	0.30	0.26	0.23	0.20	0.18	0.12	0.09
75	1.40	1.05	0.84	0.70	0.60	0.52	0.47	0.42	0.27	0.21
80	1.60	1.20	0.96	0.80	0.68	0.60	0.52	0.48	0,31	0.24
100	2.48	1.87	1.50	1.24	1.08	0.93	0.82	0.75	0.50	0.37
150	5.60	4.20	3.40	2.80	2.40	2.10	1.80	1.70	1.10	0.80
200	10.00	7.50	6.00	5.00	4.30	3.70	3.30	3.00	2.00	1.50
250	15.00	11.00	9.30	7.80	6.60	5.80	5.10	4.70	3.10	2.30
300	23.00	17.00	13.00	10.60	9.60	8.40	7.50	6.80	4.40	3.20
400	40.00	30.00	24.00	20.00	17.00	15.00	13.30	12.00	8.00	6.00
500	62.00	46.00	37.00	31.00	26.00	23.00	20.80	18.7 0	12.40	9.30
600	94.00	68.00	54.00	45.00	39.00	34.00	30.00	27.00	18.00	13.40
800	168.00	123.00	98.00	80.00	68.00	60.00	53.00	48.00	32.00	24.00
1000	270.00	204.00	154.00	127.00	107.00	93.00	83.00	75.00	50.00	37.00
1500	700.00	460.00	350.00	290.00	250.00	220.00	190.00	170.00	120.00	84.00
2000	1700.00	900.00	670.00	540.00	450.00	370.00	345.00	310.00	200.00	150.00

221. Tension des fils. — Un fil tendu est soumis en chaque point à deux forces égales et contraires ; la résistance qu'il oppose à ces deux forces se nomme tension. Nous avons indiqué la plus grande tension à laquelle peuvent résister les fils qu'on emploie en France et celle qu'il convient de ne pas dépasser dans l'établissement des lignes électriques pour éviter toute chance de rupture.

La tension aux différents points de la chaînette (*fig.* 105) n'est pas la même ; le point le plus bas de la courbe est celui où cette tension est la plus faible, elle augmente d'une manière continue jusqu'au point d'appui où elle a sa plus grande valeur. Si donc, la qualité du fil était partout la même, les points où il aurait le plus de chance de se rompre seraient ceux qui avoisinent les supports.

Dans les deux tableaux qui donnent les flèches pour différentes distances des points d'appui, les tensions qui sont indiquées sont celles du point le plus bas de la courbe.

Pour avoir la tension au point le plus élevé, il faut ajouter autant de kilogrammes que la flèche contient de fois 10 mètres pour le fil de 4 millimètres, et qu'elle contient de fois 16 mètres pour le fil de 3 millimètres.

Ainsi, par exemple, la tension du fil au point le plus élevé, si la distance des poteaux est 500 mètres et la tension au point le plus bas 40 kilogrammes, sera 48 kilogrammes pour le fil de 4 millimètres et 43 pour celui de 3 millimètres [1].

On voit, d'après ces tableaux, que la tension ne varie pas d'un kilogramme quand la distance des poteaux ne dépasse pas 150 mètres ; on peut la regarder comme étant sensiblement égale aux différents points de la courbe.

222. — Lorsque la température s'abaisse, le fil se raccourcit, la flèche diminue et par suite la tension augmente. Pour ne pas avoir à craindre de rupture pendant l'hiver, il faut que la ten-

1. Dans la chaînette, on obtient la tension en un point quelconque en ajoutant à la tension au point le plus bas le poids d'un fil de même nature qui aurait pour longueur la différence de niveau entre ces deux points.

sion, par suite de ce raccourcissement, ne puisse atteindre la limite qu'il convient de ne pas dépasser pour chaque nature de fil.

Quand la distance qui sépare les points de suspension est très-petite, le raccourcissement du fil diminue la flèche dans une proportion plus grande que lorsquelle est considérable, et par conséquent l'augmentation de tension est plus sensible ; les fils doivent donc être d'autant moins tendus que les supports sont plus rapprochés.

Toutefois, lorsque la distance des points d'appui dépasse 50 mètres, on peut sans inconvénient, pour une température de 15 à 20° au-dessus de zéro, admettre pour tension :

70 kilogrammes		pour le fil de 4 millimètres.		
40	—	pour le fil de 3	—	
80	—	pour le fil de 4	—	non recuit.

On connaît, en consultant les tableaux ci-dessus, la flèche que doit avoir le fil quand la distance des points de suspension est déterminée.

Il y a toujours avantage à rendre la tension aussi faible que possible, mais on est souvent arrêté, parce que le fil peut rencontrer des obstacles ou se trouver à une trop petite distance du sol.

Quand on dépasse les chiffres que nous venons d'indiquer, on est obligé de détendre les fils à l'approche de l'hiver pour éviter les ruptures.

223. **Grandes portées.** — Sur les lignes ordinaires, même lorsque les points de suspension sont en ligne droite, on ne place pas ordinairement les poteaux à plus de 100 à 120 mètres de distance, ce qui, avec une tension de 70 kilogrammes, donne une flèche de $1^m,80$ pour le fil de 4 millimètres ; mais quand le fil peut pendre sans inconvénient, s'il est, par exemple, suspendu aux sommets de deux édifices élevés ou s'il traverse des vallées profondes, on peut dépasser de beaucoup cette distance, pourvu qu'on s'assure d'avance que rien ne s'oppose à ce que la flèche ait une grandeur suffisante.

On ne pourrait pas cependant éloigner indéfiniment les points d'appui ; car il faut tenir compte de la tension au point le plus élevé de la courbe ; elle n'est pas la même qu'au point le plus bas, et ne doit jamais dépasser la limite à partir de laquelle il y a danger de rupture.

A mesure qu'on augmente la flèche la tension au point le plus bas diminue, mais il arrive un moment où la tension au point le plus élevé, qui supporte le poids du fil, va au contraire en croissant.

Supposons, par exemple, que la distance des points d'appui soit de 1000 mètres et que le fil employé soit du fil de 4 millimètres de diamètre.

Longueur de la flèche.	Tension au point le plus bas.	Tension au point d'appui.
Pour 186	70 kilog.	88 kilog.
— 218	60	81
— 271	50	77
— 353	40	75
— 516	30	81

La flèche pour laquelle la tension est la plus faible est donc comprise entre 271 et 353 ; cette tension est inférieure à 75 kilogrammes, mais elle est supérieure à 70 kilogrammes.

La plus grande distance à laquelle on peut placer les supports pour que la tension du fil au point le plus élevé soit de 70 kilogr., est pour le fil de 4 millimètres, 930 mètres, et la flèche doit être, dans ce cas, de 315 mètres ; pour le fil de 3 millimètres non recuit la tension maximum étant de 80 kilogrammes, la distance des supports peut être de 1780 mètres et la flèche doit être de 590 mètres

Dans la pratique on n'atteint jamais ces limites, car il est toujours impossible de donner aux flèches d'aussi grandes dimensions.

224. **Cas où les points de suspension sont à des hauteurs inégales.** — Il arrive souvent que les supports sont placés à des hauteurs différentes ; la courbe est exactement la même ; on doit la considérer comme prolongée au delà du point de suspension le moins élevé jusqu'à un autre point placé à la même hauteur que

l'autre. La flèche du fil, prise par rapport au plus haut point d'appui, doit remplir la même condition que si le fil était réellement suspendu entre ces deux points.

Ainsi, *fig.* 104, les deux points d'appui étant B et E, lorsque le fil est posé, si l'on veut s'assurer que la flèche est suffisante, il faut prendre la distance horizontale HK, doubler cette longueur et voir si la flèche du fil, CD, est supérieure à celle qui correspond à la distance totale IK, pour une tension de 70, 40 ou 80 kilogr., suivant la nature du fil employé, comme s'il était fixé aux deux points A et B.

Le point le plus bas de la courbe se trouve toujours plus près du support le moins élevé que de l'autre; il peut correspondre au point d'appui, si la différence de hauteur des deux supports est égale à la flèche que doit faire le fil pour une distance double de celle qui les sépare. Ainsi, s'ils sont à 150 mètres, la flèche étant de 16 mètres pour 300 mètres de distance et 70 kilogrammes de tension, les points d'appui devront avoir au moins cette différence de hauteur.

Si la différence de niveau était moins grande, le point le plus bas serait entre les supports; si elle était au contraire plus grande, on tendrait moins le fil, en s'arrangeant de façon que la tangente à la courbe soit horizontale au point d'appui inférieur.

La plus grande distance à laquelle on peut placer les supports est donc moindre que lorsqu'ils sont au même niveau. Si, par exemple, la différence de hauteur était 315 mètres, qui correspond à la plus grande flèche que doit faire le fil de 4 millimètres pour que la tension ne dépasse pas 70 kilogrammes, la distance horizontale des deux points d'appui devrait être seulement de $\frac{930}{2}$ ou 415 mètres.

225. **Résistance des points d'appui.** — Quand un fil est tendu d'un seul côté du point d'appui, il exerce sur son support une force qui tend à l'arracher, et se transmet au potelet qui soutient la suspension et au bâtiment contre lequel est fixé le potelet. Cette force, à laquelle doivent pouvoir résister toutes les parties solidaires qui en supportent l'effort, est précisément égale à la tension

du fil; on peut en général la considérer comme horizontale. Quand la flèche est considérable, cette force est un peu inclinée et agit avec moins d'intensité sur le potelet.

Les poulies d'arrêt, fixées dans le chêne ou dans le sapin avec de grosses vis à tête carrée, présentent une résistance suffisante.

Quand on est obligé de tendre les fils, on emploie des tendeurs à un seul treuil, munis d'un bras en fer de façon à pouvoir être retenu par une ou deux poulies d'arrêt.

226. — Lorsque plusieurs fils sont arrêtés au même potelet, il doit pouvoir résister à la somme de toutes les tensions.

Dans le cas, par exemple, de 10 fils tendus chacun avec une force de 70 kilogrammes, l'effort supporté par le potelet est de 700 kilogrammes.

Une pièce de bois offre une résistance beaucoup plus grande quand elle est encastrée à ses deux extrémités, que lorsqu'une seule des extrémités est fixée; la disposition la plus favorable est donc celle d'un potelet retenu à ses deux bouts par de fortes brides scellées dans la pierre de taille. Quand le nombre des fils oblige à donner aux brides un grand écartement, on en place une troisième au milieu. La résistance du bois étant plus grande auprès des points où il est fixé, on doit en rapprocher autant que possible les isolateurs.

Si le potelet, dépassant le bâtiment, ne peut être fixé que par sa partie inférieure, il présente moins de solidité et doit avoir de plus fortes dimensions; on place les fils aussi bas que possible pour qu'ils soient moins éloignés des points d'attache.

Le chêne est le bois qui offre le plus de résistance et doit être préféré; quant aux dimensions qu'il convient d'adopter, elles dépendent de la manière dont le potelet peut être fixé, du nombre des fils et de leur position.

Le choix des bâtiments contre lesquels on doit arrêter les fils mérite surtout la plus grande attention, car la force considérable qui résulte de la tension des fils pourrait, à la longue, desceller les pierres, renverser un pan de mur, et donner lieu à des accidents regrettables.

Ainsi, l'on ne doit pas, en général, fixer le potelet, sur lequel

les fils doivent être arrêtés, contre une maison en bois, contre une cheminée, contre une galerie servant de couronnement à un édifice, etc., etc.

On est quelquefois obligé de réunir par des tirants en fer les pierres de taille afin de répartir l'action des fils sur une plus grande étendue. On peut aussi, quand leur nombre est considérable, les diviser en plusieurs faisceaux arrêtés à des points différents.

Il faut en outre tenir compte des vibrations presque permanentes du fil, qui, en produisant un ébranlement continu des supports, tendent à diminuer la solidité aux points d'attache.

227. **Résistance des poteaux.** — Considérons maintenant un poteau solidement fixé par son pied et tiré par une force horizontale appliquée en un point quelconque de sa hauteur. Si cette force est faible, le poteau s'infléchit un peu, mais, en vertu de son élasticité, il reprend sa position verticale dès que la force cesse d'agir.

Quand la force atteint une certaine limite, le poteau se courbe et peut même se rompre ; dans tous les cas, il perd son élasticité et conserve sa courbure. On ne doit pas atteindre cette limite dans la construction des lignes électriques.

La force à laquelle un poteau peut résister augmente beaucoup avec ses dimensions transversales ; elle dépend aussi du point d'application de la force dont l'action est d'autant plus grande qu'elle est placée à une plus grande hauteur.

M. Trottin, inspecteur des lignes télégraphiques, a trouvé les nombres suivants pour la résistance des poteaux de 6 mètres, $7^{m},50$ et $9^{m},50$ ayant les dimensions les plus faibles admises par l'administration [1].

1° Un poteau en sapin de 6 mètres de hauteur, enterré à $1^{m},50$ de profondeur et ayant $0^{m},08$ de diamètre à la partie supérieure et $0^{m},12$ de diamètre à $1^{m},50$ de la base, peut supporter sans inconvénient une force de $26^{k},38$ agissant horizontalement

1. *Voir* les deux articles insérés dans les *Annales télégraphiques* (décembre 1855 et janvier 1856) par M. Trottin.



au sommet du poteau, et une force de $29^k,68$ appliquée à $0^m,50$ du sommet.

2° Un poteau de $7^m,50$, enterré à $1^m,50$ de profondeur, ayant $0^m,08$ de diamètre au sommet et $0^m,16$ à $1^m,50$ de la base, peut résister à une force de $39^k,58$ au sommet et de $46^k,45$ appliquée à $0^m,50$ du sommet.

3° Un poteau de $9^m,50$, enterré à 2 mètres de profondeur, ayant $0^m,08$ de diamètre à l'extrémité supérieure et $0^m,20$ à 2 mètres de la base, peut résister à une force de $47^k,50$ appliquée au sommet et de 57 kil. appliquée à $0^m,50$ du sommet.

Ces nombres peuvent servir de base, et, pour des poteaux de même hauteur, mais dont les dimensions sont différentes, on peut regarder la résistance comme sensiblement proportionnelle au cube du diamètre moyen.

Lorsque plusieurs fils sont arrêtés au même poteau, leur effet est le même que celui d'un seul fil placé au milieu des deux extrêmes, et dont la tension serait égale à la somme des tensions de tous les fils. S'il y a, par exemple, quatre fils, placés à $0^m,30$ de distance à partir du sommet, tendus avec une force de 70 kilogr., ils agissent comme un seul fil qui serait arrêté à $0^m,45$ du sommet, dont la tension serait 280 kilogrammes. Cette force unique, qui peut en remplacer plusieurs autres, se nomme résultante.

Aucun des poteaux ayant les dimensions que nous venons d'indiquer ne pourrait donc résister même à un seul fil placé au sommet et tendu avec une force de 70 kilogrammes.

On doit, lorsqu'on est obligé d'arrêter les fils à un poteau, le consolider par un moyen quelconque, en l'appuyant, par exemple, contre un bâtiment et en le fixant solidement au moyen de brides placées aussi haut que possible.

228. **Haubans.** — Quand le poteau est isolé, on le soutient par des haubans. Ce sont des fils de fer fortement tendus qu'on fixe d'une part au poteau et de l'autre à un bâtiment voisin. A défaut de point d'appui, on enfonce en terre un fort piquet et on y attache l'extrémité du hauban. L'effet de ces haubans est de tirer le po-

teau en sens contraire des fils avec une force égale à la somme de leurs tensions.

Le hauban doit être autant que possible horizontal ; quand on attache son extrémité à un piquet, on éloigne ce piquet du pied du poteau pour lui donner moins d'inclinaison. Tout l'effort exercé par les fils se transmet par le hauban au point d'attache qui doit présenter une solidité suffisante. On forme ordinairement le hauban de plusieurs fils de fer tordus en un seul faisceau pour qu'ils aient une grande résistance ; on le fixe au poteau aussi haut que possible ; il est préférable de le diviser en deux parties qui aboutissent l'une au sommet même du poteau, et l'autre immédiatement au-dessous des fils.

On peut également se servir de haubans pour soutenir les potelets qui sont retenus seulement par la partie inférieure.

229. **Poteaux couplés.** — Il est un autre moyen de consolider les poteaux quand aucun des précédents n'est praticable ; il consiste à accoupler deux poteaux de même dimension en les plantant dans le même trou et à les rendre solidaires par des brides ou des boulons.

Deux poteaux ainsi accouplés offrent, dans la direction de l'accouplement, une résistance égale à cinq fois celle que présenterait chacun d'eux séparément. En supposant donc qu'ils aient les dimensions données plus haut et que la force horizontale soit appliquée au sommet dans la direction des centres des deux poteaux, on aura pour résistance :

1° de deux poteaux couplés de			6^{m}00	130	kilog.
2°	—	—	7^{m}50	195	»
3°	—	—	9^{m}50	235	»

230. **Effort supporté par les points d'appui dans les angles.** — Les fils ne sont arrêtés invariablement que dans des circonstances exceptionnelles. Le long des lignes, chaque fil est ordinairement tendu des deux côtés du point d'appui, soit qu'il glisse librement dans le support en porcelaine, soit que les deux côtés du fil soient fixés au même poteau, comme cela a lieu pour les tractions.

Quand les points de suspension sont en ligne droite, le fil n'agit sur son support que par son propre poids. La force qu'il exerce de haut en bas est égale au poids de la portion de fil qui sépare deux suspensions, elle est donc en général assez faible et ne peut causer la rupture des appareils de suspension, elle tend à maintenir le poteau dans la position verticale.

Supposons maintenant que le point d'appui se trouve au sommet d'un angle; et soient AB et AC (*fig.* 106) les deux portions de fil qui passent dans la suspension A.

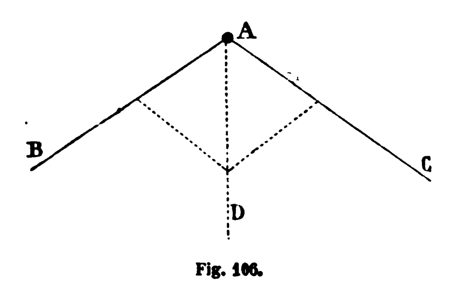


Fig. 106.

Les deux fils tirent le support, l'un dans la direction AB et l'autre dans la direction AC, et ces deux forces sont égales aux tensions des fils AB et AC. Lorsque ces deux tensions sont égales, ce qui a nécessairement lieu quand le fil peut glisser dans la suspension, les deux fils produisent sur le point A l'effet d'un seul qui tirerait suivant la bissectrice AD, avec une certaine force variable suivant la grandeur de l'angle; plus l'angle est aigu et plus cette force, qu'on nomme encore résultante, est considérable [1].

Le tableau suivant montre le rapport qui existe entre la résultante et chacune des forces pour des angles variant de 10 en 10 degrés.

1. Lorsque deux forces agissent sur un point, la résultante de ces deux forces est égale en grandeur et en direction à la diagonale du parallélogramme construit sur les lignes qui représentent les deux forces; si elles sont égales, en nommant

ANGLES.	RAPPORT entre la résultante et la force.	ANGLES.	RAPPORT entre la résultante et la force.
180	0,	90	1, 41
170	0, 17	80	1, 53
160	0, 34	70	1, 63
150	0, 51	60	1, 73
140	0, 68	50	1, 81
130	0, 84	40	1, 87
120	1,	30	1, 93
110	1, 14	20	1, 96
100	1, 28	10	1, 99
		0	2,

Si, par exemple, un seul fil tendu avec une force de 70 kilogr. passe dans un anneau, et si l'angle est égal à 160°, la force qui tend à renverser le poteau suivant la bissectrice de l'angle a pour valeur 70 × 0,34 ou 23^k,80. Si l'angle était de 40°, la force serait 70 × 1,87 ou 130^k,90.

Dans le cas de deux fils, la résultante agissant toujours suivant la bissectrice, est appliquée au point milieu des deux fils et égale au double de la résultante pour chacun d'eux, ou 47^k,60 pour un angle de 160°, et 261^k,80 pour un angle de 40°. On aurait de la même manière la résultante pour un plus grand nombre de fils.

231. — On peut donc déterminer pour chaque poteau dont

R la résultante, f la force commune et a l'angle qu'elles font, la résultante est dirigée suivant la bissectrice de l'angle et son expression est : $R = \frac{\sin a}{\sin \frac{a}{2}} \times f$.

C'est le rapport $\frac{\sin a}{\sin \frac{a}{2}}$ que donne le tableau. Le rapport est nul pour 180° et égal à 2 pour 0.

on connait la résistance, le plus petit angle que doivent faire les fils suivant leur nombre.

Les tableaux suivants ont été établis par M. Trottin ; ils donnent cet angle minimum pour des poteaux ayant les dimensions indiquées au n° 227 [1], en admettant que les fils de 4 millimètres soient tendus avec une force de 70 kilogrammes, et les fils de 3 millimètres avec une force de 40 kilogrammes ; on suppose en outre les fils placés à partir du sommet des poteaux à $0^{m},30$ de distance les uns des autres.

POTEAUX DE 6 MÈTRES.

NOMBRE de FILS.	FORCE à laquelle les poteaux peuvent résister.	ANGLE MINIMUM pour du fil de 4mm de diamètre.	ANGLE MINIMUM pour du fil de 3mm de diamètre.
1	$26^{k},38$	157°,54′	140°,10′
2	$26^{k},98$	168°,44′	159°,56′
3	$27^{k},61$	172°,20′	166°,20′
4	$28^{k},27$	174°, 6′	169°,32′
5	$28^{k},96$	175°,10′	171°,24′
6	$29^{k},68$	175°,52′	172°,40′

1. Il ne faut pas perdre de vue que ces poteaux sont les plus faibles admis en France. La force à laquelle ils peuvent résister croît avec le nombre de fils, parce que le point d'application de la résultante descend lorsque ce nombre augmente.

POTEAUX DE 7^m,50.

NOMBRE de FILS.	FORCE à laquelle les poteaux peuvent résister.	ANGLE MINIMUM pour du fil de 4^{mm} de diamètre.	ANGLE MINIMUM pour du fil de 5^{mm} de diamètre.
1	39^k,58	146°,34′	118°,30′
2	40_k,91	162°,54′	149°,22′
3	42^k,26	168°,16′	158°,32′
4	43^k,64	170°,54′	163°,18′
5	45_k,03	172°,32′	166°,38′
6	46^k,45	173°,34′	168°,30′

POTEAUX DE 9^m,50.

NOMBRE de FILS.	FORCE à laquelle les poteaux peuvent résister.	ANGLE MINIMUM pour du fil de 4^{mm} de diamètre.	ANGLE MINIMUM pour du fil de 5^{mm} de diamètre.
1	47^k,50	139°,38′	104°,18′
2	49^k,42	159°,18′	142°,16′
3	51^k,38	165°,12′	154°,26′
4	53^k,37	168°,52′	160°, 8′
5	55_k,40	170°,16′	163°,32′
6	57^k,47	172° »	165°,50′

POTEAUX COUPLES DE $7^m,50$[1].

NOMBRE de FILS.	ANGLE MINIMUM pour du fil de 4^{mm} de diamètre.	ANGLE MINIMUM pour du fil de 3^{mm} de diamètre.
1	0°, »	0°, »
2	84°, »	0°, »
3	118°,28′	49°, 8′
4	133°,16′	90°,24′
5	141°,40′	108°,52′
6	147°,20′	120°, »

POTEAUX COUPLES DE $9^m,50$.

NOMBRE de FILS.	ANGLE MINIMUM pour du fil de 4^{mm} de diamètre.	ANGLE MINIMUM pour du fil de 3^{mm} de diamètre.
1	0°. »	0°, »
2	52°,20′	0°, »
3	103°, 4′	0°, »
4	122°,10′	61°,20′
5	132°,32′	89°,18′
6	139°,16′	103°,42′

1. On suppose ici les poteaux couples plantés de façon à offrir la plus grande résistance, la ligne des centres étant dirigée suivant la bissectrice de l'angle.

232. On peut ainsi calculer la distance à laquelle doivent être placés les poteaux dans les courbes, suivant leur rayon. Les nombres suivants sont admis en France pour une ligne ayant quatre fils et construite sur des terrains de nature ordinaire avec des poteaux de force moyenne.

Rayons supérieurs à	2,000m	Espacemt	compris entre	80m et 60m
— de	2,000m à 1,500m	—	—	60m et 55m
—	1,500m à 1,000m	—	—	55m et 45m
—	1,000m à 800m	—	—	45m et 40m
—	800m à 600m	—	—	40m et 35m
—	600m à 400m	—	—	35m et 30m
—	400m à 250m	—	—	30m et 25m
—	250m à 100m	—	—	25m et 20m

Quand on est forcé par des circonstances locales de placer un poteau au sommet d'un angle trop aigu pour qu'il puisse résister à la tension des fils, on le soutient au moyen de brides ou de haubans.

Les haubans doivent être opposés à la force qui tend à entraîner les poteaux, et, par conséquent, placés suivant le prolongement de la bissectrice de l'angle; ils ont l'inconvénient d'établir une communication avec la terre, et, quand il pleut, ils donnent lieu à des pertes de courant. On doit éviter de les multiplier ; il est souvent préférable d'employer des poteaux couplés.

233 — Nous n'avons pas tenu compte de la résistance des supports dans les courbes, parce qu'en général, lorsque l'angle est un peu accusé, on renonce aux cloches pour employer des anneaux ou d'autres suspensions qui offrent une plus grande résistance.

Lorsqu'on fait usage des cloches, la force appliquée à l'extrémité du crochet peut le tordre et le briser. M. Trottin a trouvé que la force maximum à laquelle peut résister le crochet d'une cloche ordinaire est de 8k,37, et que l'angle minimum pour lequel on peut employer ce genre de support est de 67°,36′.

234. **Tracé des lignes.** — Dans les lignes droites, une seule

considération empêche d'éloigner les poteaux ; le fil au point où il est le plus bas doit être assez élevé pour qu'il ne puisse rencontrer aucun obstacle.

Ainsi pour une ligne ayant six fils fixés sur les poteaux à $0^m,30$ de distance, le premier étant à $1^m,10$ du sommet, le dernier sera à $1^m,60$, et, si l'on emploie des poteaux de $7^m,50$ enterrés à $1^m,50$ de profondeur, les suspensions les moins élevées seront à $4^m,40$ du sol. Si l'on veut que le fil ait au moins 3 mètres d'élévation, il faudra que la flèche ne dépasse pas $1^m,40$ et que la distance des poteaux soit inférieure à 90 mètres.

Le vent imprime aux fils des oscillations qui peuvent lui faire toucher les corps voisins et occasionner des ruptures ou des mélanges. L'écartement qui résulte de ces oscillations ne pouvant jamais dépasser la grandeur de la flèche, il suffit que la ligne des poteaux soit à une distance égale à cette flèche des arbres ou des bâtiments qui se trouvent dans le voisinage.

Dans les courbes on rapproche les points d'appui pour diminuer l'angle qu'ils forment, et, suivant les dimensions des poteaux qu'on peut avoir à sa disposition, le nombre des fils qu'ils doivent supporter, ce rapprochement est plus ou moins grand.

Pour que les fils ne rencontrent pas d'obstacle, il faut prendre la ligne droite qui passe par deux poteaux consécutifs et s'assurer que l'espace est libre à la hauteur du fil inférieur, non-seulement sur cette ligne, mais encore à une distance égale à la flèche.

Ainsi, sur le chemin de fer, quand le fil est en dehors de la courbe, si les poteaux étaient seulement à $1^m,50$ des rails, au milieu des supports, le fil se trouvant plus rapproché pourrait être atteint par les trains. Si l'on ne peut éloigner les poteaux de la voie, cette considération peut déterminer leur rapprochement.

235. **Bruit causé par les fils.** — Les fils tendus le long des lignes électriques sont presque constamment en vibration. Ces vibrations, occasionnées par le vent, se transmettant par l'intermédiaire des suspensions en porcelaine aux poteaux et aux supports produisent souvent un son très-intense.

Le son est d'autant plus aigu que les fils sont plus tendus ; il varie d'intensité avec la direction du vent, la hauteur des fils, la

dimension des poteaux et la nature des surfaces qui entrent en vibration avec le fil ; il atteint son maximum quand la direction du vent est normale à celle des fils.

Ce bruit, qui, le long des lignes, présente peu d'inconvénients, se communique par les potelets ou les consoles aux bâtiments qui les supportent, et peut devenir gênant pour les habitants.

On diminue beaucoup l'acuité du son en détendant les fils, ce qu'on doit toujours faire quand aucun obstacle ne s'y oppose et que leur écartement est suffisant.

On empêche ces vibrations de se transmettre aux bâtiments en séparant entièrement les fils des murs sur lesquels ils sont fixés, par une substance peu vibrante comme le caoutchouc ou la gutta-percha.

On interpose à cet effet des lames épaisses de caoutchouc entre les potelets qui supportent les fils et les brides scellées contre les maisons.

On emploie aussi dans le même but des supports à sourdine ; ce sont des cloches, des anneaux et des supports de tendeurs munis de larges trous dans lesquels passent les vis munies de manchons et de rondelles en caoutchouc.

236. **Entretien des lignes.** — Dans quelques pays, les lignes électriques ne sont soumises à aucune surveillance ; on se borne à envoyer des ouvriers pour réparer les dérangements quand ils se présentent ou faire les changements indispensables.

Un pareil système ne peut être admis que lorsque les lignes ont peu d'étendue ; les pertes de courant, occasionnées par le contact des corps étrangers, tels que les branches d'arbres, les toiles d'araignées, etc., ont alors peu d'influence sur la transmission, et l'on n'a jamais à faire parcourir aux ouvriers que l'espace restreint qui sépare les deux bureaux entre lesquels a lieu le dérangement.

En France, le service de surveillance est organisé sur de larges bases. Chaque agent n'a qu'une faible section de ligne à entretenir ; il nettoie tous les appareils de suspension, élague les arbres dont les branches peuvent toucher les fils, tend ou détend les fils quand il est nécessaire, remplace les suspensions brisées ; il s'assure

que les poteaux sont en bon état, redresse au moufle ceux qui cèdent à la tension des fils, enfin exécute tous les travaux ou changements utiles.

En cas de dérangement, les surveillants se transportent sur la ligne pour procéder à sa recherche ou faire les expériences qui leur sont indiquées.

Pour réunir les deux bouts d'un fil rompu on le détend aux deux tendeurs voisins, on saisit avec les deux mâchoires à tendre (comme pour la pose des supports de tendeurs) les deux extrémités qu'on rapproche à l'aide des moufles, on peut alors faire une torsade et tendre de nouveau le fil.

Sur les chemins de fer, les surveillants peuvent se rendre rapidement en un point quelconque de leurs sections; ils sont facilement prévenus lorsqu'un dérangement a lieu, et peuvent, en prenant un train, suivre des yeux le fil et reconnaître le lieu du dérangement. On les place seulement aux stations principales. La section de chaque surveillant est d'environ 40 ou 50 kilomètres.

Sur les routes, les surveillants résident dans les villages. En cas d'interruption, ils ne peuvent être avertis, aussi le service est-il disposé, surtout sur les lignes importantes, de façon que, chaque jour, la ligne soit entièrement visitée.

LIGNES ÉTRANGÈRES.

237. — Les lignes électriques de France sont établies d'après le système le plus simple et le plus économique; les supports-cloches isolent aussi bien que possible, et, par les temps les plus défavorables, on peut correspondre directement à des distances de 5 à 600 kilomètres; on n'a, dans aucun pays, obtenu des résultats plus satisfaisants.

Afin de donner une idée des différents modes adoptés dans les divers pays de l'Europe, nous citerons le passage suivant d'un arti-

cle inséré dans les *Annales télégraphiques*, par M. Gaillard, inspecteur des lignes télégraphiques[1] :

« Les isolateurs allemands diffèrent essentiellement de ceux de France :

« 1° En ce qu'ils ne sont pas fixés directement sur le poteau dont ils s'écartent de $0^{m},30$ au moins ;

« 2° En ce que le point d'attache du fil est situé au-dessus de la cloche et non au-dessous.

« Dans ce système, l'isolateur (*fig.* 107) consiste en une cloche

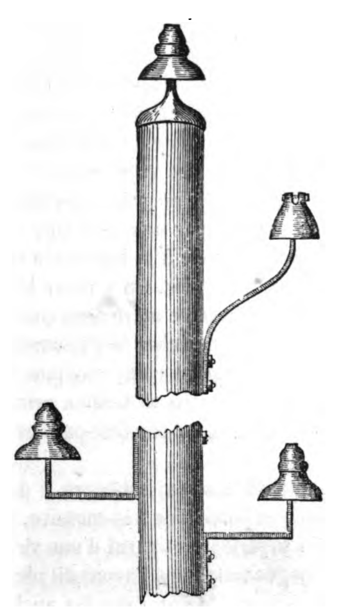


Fig. 107.

de verre, de porcelaine ou de grès scellée au plâtre sur une console en fer qui est fixée au poteau par sa partie inférieure.

1. Nos de décembre 1855 et de janvier 1856.

« La cloche se relève à son sommet en une sorte de bouton ou gorge de poulie horizontale; le fil de la ligne s'enroule autour, ou bien encore il s'engage dans une rainure verticale pratiquée dans le bouton. On l'arrête le plus communément avec une ligature de fil de laiton, ce qui dispense d'avoir recours aux tendeurs.

« Quelquefois aussi, comme en Hollande et en Prusse, le fil glisse librement dans la rainure verticale; un simple lien de laiton ou une goupille transversale placée au sommet de la rainure empêche le fil d'en sortir. Ce dernier système exige des dispositions spéciales pour maintenir la tension de la ligne. En Hollande on se sert de tendeurs français; en Prusse on a recours à des supports de traction placés tous les 1,000 mètres environ. C'est un assemblage de deux poteaux, distants de $0^m,80$ l'un de l'autre et accouplés par une double plate-bande de fer. Sur chacun d'eux on place des isolateurs spéciaux qui doivent être d'une grande solidité. A cet effet, l'isolateur ordinaire en porcelaine est couvert d'une seconde cloche en fonte soudée au plâtre par-dessus. Cette cloche est traversée à son sommet par une ouverture en forme de cône tronqué, dont l'axe est parallèle à la ligne et la base tournée vers l'intérieur des poteaux accouplés. On y passe le fil, qui doit être coupé à cet endroit, et on le serre entre deux coins demi-coniques, dentelés à l'intérieur pour empêcher le glissement; le poids du fil tend à l'entraîner, et avec lui les coins coniques qui le pressent et le maintiennent solidement sous sa tension primitive. La lacune du fil entre ces deux poteaux est comblée par des spirales en fil de cuivre.

« On substitue quelquefois aux isolateurs à double cloche une sorte de cloche simple en porcelaine très-massive. Un trou conique, pratiqué à la partie supérieure et garni d'une virole de cuivre, reçoit le fil et les coins, comme nous l'avons dit plus haut.

« On emploie aussi, en Prusse, dans les angles rapides ou les changements brusques de niveau, notamment à la sortie des stations, un isolateur particulier; la cloche en porcelaine se relève en forme de cou de bouteille déprimé au milieu. On l'entoure à l'endroit de la dépression d'un collier en fer qui peut tourner librement dans le sens horizontal, et auquel s'adapte, au moyen d'une

charnière, une tige de fer mobile dans le sens vertical. Le fil de ligne est fixé à cette tige et prend ainsi toutes les directions et inclinaisons possibles sans fatiguer le support.

« En Bavière, les isolateurs (*fig.* 108) sont munis d'une calotte

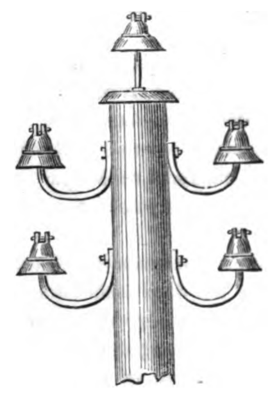


Fig. 108.

en fonte soudée au plâtre à leur partie supérieure. Une rainure pratiquée dans cette calotte reçoit le fil, et on l'y maintient à l'aide de deux coins de fer enfoncés en sens inverse dans une ouverture transversale.

« Les consoles en fer qui supportent les isolateurs allemands présentent les formes et les dispositions les plus variées. Elles sont fixées au poteeu tantôt par deux vis ou par une vis et un collet, tantôt par des écrous. Elles se terminent quelquefois par une partie droite qui traverse les poteaux, et elles sont fixées, dans ce cas, soit par le simple frottement, comme dans le duché de Bade, soit à l'aide d'un écrou.

« Les consoles affectent la forme tantôt d'un S renversé, comme en Prusse et en Hollande ; tantôt celle d'un Z horizontal, dont une branche est fixée au poteau, et dont l'autre supporte la cloche ; ou bien encore celle d'un C horizontal, arrondi ou rectangulaire. (*Voir* les *fig.* 107 et 108.)

« La forme d'un C, adoptée en Bavière et en Suisse, a le grand avantage de placer au même niveau ou à peu près le point d'attache de la console au poteau et le point d'attache du fil à l'isolateur, en sorte que la traction de la ligne ne tend point à déjeter la console, comme on le remarque trop souvent avec les autres dispositions.

« Sur les lignes à plusieurs fils, les fils sont répartis sur les deux côtés des poteaux, et le plus souvent les consoles sont placées à des hauteurs différentes sur les deux faces.

« Quelquefois, cependant, comme en Bavière, elles sont placées à la même hauteur et elles sont reliées par un boulon, ou bien encore l'une d'elles traverse le poteau et sert de boulon pour attacher l'autre.

« Cette disposition a l'inconvénient d'établir une communication métallique entre les deux isolateurs, et si l'isolement n'est pas parfait, il en résulte une dérivation d'un fil à l'autre.

« On peut augmenter la longueur et l'écartement des consoles à partir du sommet du poteau, et placer ainsi les fils dans des plans différents. Cette méthode, très-avantageuse parce qu'elle prévient les mélanges, est adoptée en Bavière et sur les nouvelles lignes autrichiennes.

« Comme variété de l'isolateur à console, nous devons mentionner ici celui qu'on place au sommet du poteau sur une tige de fer droite de $0^m,30$ environ.

« En Prusse, la tige est soudée sur une calotte en fonte dont on coiffe la tête du poteau et qu'on maintient par des vis. Ce système est d'un ajustage difficile.

« En Autriche, la tige, aplatie à sa partie inférieure, est simplement fixée par deux vis sur le côté du poteau et près du sommet. C'est là une disposition très-simple et très-économique; mais elle est d'un effet très-disgracieux et n'offre pas une grande solidité.

« Aussi dans quelques pays, tels que la Suisse et la Bavière, la tige qui supporte l'isolateur est plantée en plein bois au milieu du sommet. Pour empêcher le poteau de se fendre dans cette opération et obtenir plus de solidité, on a recours à un moyen très-ingé-

nieux. Une virole en fer mince, de 0m,04 d'ouverture et de 0m,06 ou 0m,07 de longueur, parfaitement aiguisée à son bord inférieur, est préalablement enfoncée à fleur de bois au sommet du poteau, de manière à maintenir l'écartement des fibres intérieures. C'est au centre de cette virole qu'on plante la tige de l'isolateur, en ayant soin de placer d'abord sur la virole une rondelle en feutre, et par-dessus celle-ci un disque de zinc dépassant les bords du poteau et légèrement cintré en forme de cône. (*Voir fig.* 108.)

« La tige, enfoncée par-dessus jusqu'à un bourrelet aplati dont elle est munie, maintient solidement le feutre et le zinc, et le sommet du poteau se trouve ainsi garanti de toute humidité. Pour enfoncer la virole dans le poteau, on emploie comme outil une sorte de gobelet en fer dont le bord est creusé d'une rainure circulaire qui embrasse la virole, et pour enfoncer la tige on se sert d'un gobelet plus étroit et plus long dont on recouvre la partie supérieure de la tige de manière que le bord du gobelet vienne s'appliquer sur le bourrelet aplati.

« On peut ainsi, en frappant sur ces gobelets, enfoncer la virole et la tige sans les déformer.

« La cloche de l'isolateur doit être scellée sur place, contrairement à ce qui a lieu pour les isolateurs ordinaires.

« On essaie ce système en France sur la ligne du Nord, et il ne peut donner que de bons résultats.

« Dans les pays qui visent avant tout à l'économie dans la construction de leurs lignes, le sommet du poteau est simplement couvert et entouré d'une large cloche en terre cuite ou en verre scellée au plâtre pour plus de solidité.

« La partie supérieure de cette cloche se relève en forme de bouton, avec ou sans rainure verticale, et on y fixe le fil à l'aide d'une ligature en laiton, comme pour les isolateurs ordinaires.

« Les isolateurs allemands présentent certains avantages : ils sont dégagés du poteau, parfaitement aérés, et conservent moins facilement l'humidité. Malgré leur tendance à se déjeter, ils offrent en général un point d'appui assez solide, ce qui rend plus rare l'emploi de poulies ou d'anneaux dans les tournants et les angles. Par contre, ils coûtent au moins le triple de ceux de France et

sont d'un ajustage plus difficile ; ils encombrent et fatiguent d'avantage les poteaux. Ces inconvénients nuisent au développement du nombre des fils, aussi bien que l'absence des tendeurs, qui est un inconvénient réel sur les lignes allemandes. La difficulté de tendre régulièrement les fils oblige, en effet, à les écarter davantage. En outre, pour obtenir une tension suffisante au moment de la construction des lignes, ou pour relier les fils et les tendre à la suite d'une rupture, il faut avoir recours à des instruments compliqués et peu portatifs, tels que moufles, treuils à engrenage ou mâchoires, et vis de rappel de grandes dimensions. L'enroulement et le déroulement des fils sur le tendeur, présentent, au contraire, de grandes facilités pour les opérations de cette nature et en rendent l'exécution plus rapide.

« Les isolateurs sardes consistent en une cloche de porcelaine semblable à celle de l'isolateur français, mais sans oreilles. Une rainure circulaire pratiquée au milieu reçoit une bride en fil de fer qui sert à fixer l'isolateur non pas directement au poteau, mais une planchette latérale (*fig.* 109).

« Deux planchettes placées symétriquement de chaque côté, portent ainsi chacune quatre isolateurs. Elles sont liées au poteau, sans le toucher, au moyen de deux forts boulons qui le traversent. Elles s'appuient sur deux viroles ou entretoises en porcelaine épaisses de quelques centimètres, interposées entre le poteau et les planchettes pour les tenir à distance.

« Le fil de ligne passe dans un crochet en fer très-massif soudé au plâtre dans la cloche et muni à sa partie antérieure d'une vis de pression qui permet de fixer le fil ou de le laisser libre.

« On obtient par ce système un double isolement. Le fil est isolé de la planchette par la cloche en porcelaine, et la planchette l'est elle-même du poteau par les viroles en porcelaine.

« Ce mode de construction était en usage sur les premières lignes anglaises, mais dans de moins bonnes conditions ; car, au lieu d'une cloche, on employait pour isolateurs des sortes de fuseaux en grès dont on voit encore le modèle sur une vieille ligne autrefois concédée à une Compagnie anglaise entre Bruxelles et

Anvers. Ces isolateurs n'étaient pas abrités et touchaient par une large surface au fil de la ligne qui les traversait dans toute leur

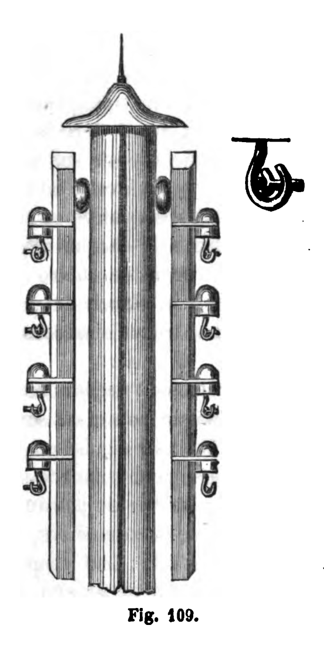


Fig. 109.

longueur. On a dû, pour remédier aux pertes, couvrir chaque isolateur d'un chapeau en zinc.

« Aujourd'hui, sur certaines lignes anglaises, on substitue au fuseau en grès un double cône au sablier en porcelaine. Le fil passe à l'intérieur et ne fait que s'appuyer sur le sommet du cône.

« Tel qu'il est appliqué aujourd'hui en Piémont, le système du double isolement paraît donner de bons résultats; toutefois, il a l'inconvénient d'exiger un matériel un peu lourd qui va bien avec les supports de forte dimension usités dans le pays, mais qui ne saurait convenir pour les poteaux plus faibles dont on se sert en France.

« Indépendamment des vis de pression fixées dans les isolateurs, on emploie sur les lignes sardes des tendeurs permanents analogues à ceux de France, et consistant en un petit treuil très-court avec roue de rochet et cliquet. Pour un tendeur, la platebande qui supporte le treuil se relie à une forte tige ronde qui traverse le poteau sans le toucher, en s'appuyant sur des viroles en porcelaine; un autre tendeur, placé derrière le poteau, forme écrou sur cette tige. Le fil qui s'enroule sur le tendeur est un fil coupé se rattachant des deux côtés à celui de la ligne par l'intermédiaire d'anneaux et de crochets doublés en porcelaine.

« Les deux sections de ligne de chaque côté du tendeur sont mises en communication par un fil de cuivre qui repose sur un petit isolateur à cloche fixé à la planchette par une tige de fer droite. Le double isolement se trouve ainsi conservé aux points de tension.

« En Sardaigne, les poteaux sont toujours recouverts d'un chapeau en bois ou en zinc. Chaque poteau est surmonté d'un paratonnerre consistant en un fil de fer aiguisé en pointe qui dépasse leur sommet de $0^{m},02$, et va se perdre dans le sol en suivant une rainure pratiquée sur la face latérale du poteau.

« L'efficacité de ces sortes de paratonnerres, employés aussi en Hollande, est peut-être contestable ; leur communication avec le sol est toujours imparfaite, quoiqu'on prenne soin de l'améliorer par une plaque métallique. Des expériences comparatives pourraient seules décider la question.

« Les isolateurs de la Compagnie anglaise, sur la ligne d'Amsterdam à la Haye, sont suspendus à une forte traverse de bois fixée en croix sur le poteau au moyen d'une bride et d'écrous.

« Cette traverse porte à chacune de ses extrémités une large cloche en verre, munie à l'intérieur d'un appendice aussi en verre et faisant corps avec elle.

« Cet appendice dépasse le bord inférieur de la cloche et remplace le crochet de l'isolateur français. Deux rainures latérales pratiquées à sa partie inférieure permettent d'engager le fil et de le maintenir par une ligature en laiton. Une calotte en fer, soudée au sommet de la cloche, est surmontée d'une tige de même

métal qui traverse le support en croix, et s'y trouve fixée par un écrou placé au-dessus (*fig.* 110).

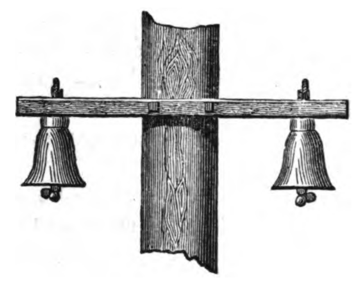


Fig. 110.

« Des traverses en bois toutes semblables étaient en usage sur les anciennes lignes bavaroises. Au lieu d'une cloche en verre, elles portaient à leur extrémité une poulie en porcelaine sur laquelle s'enroulait le fil. On y a renoncé sur les lignes nouvelles.

« Pour terminer cette revue des isolateurs, nous devons mentionner ici le système en usage sur les premières lignes autrichiennes. Autant que nous avons pu en juger, on enfonçait dans le poteau une simple patte-fiche percée de deux trous à sa partie antérieure. Un fil de laiton passé dans ces trous servait à relier au-dessous de la patte-fiche un demi-anneau en porcelaine, creusé en gorge à sa circonférence extérieure, et au-dessus, une petite plaque en tôle ou en zinc pour servir de chapeau. L'anneau en porcelaine, ainsi abrité, servait d'isolateur et supportait le fil de la ligne. »

LIGNES SOUTERRAINES.

238. — Les lignes dont les fils sont placés en l'air ne paraissent pas présenter au premier abord toutes les garanties désirables de sécurité.

Les fils et les supports sont à la portée des malveillants, et la communication peut être interrompue avec la plus grande faci-

lité. Les changements brusques de température, les accidents occasionnent quelquefois la rupture des fils conducteurs qui, en outre, sont soumis aux diverses influences atmosphériques.

On a essayé de mettre les fils à l'abri de toute action étrangère en les enveloppant d'une matière isolante et en les plaçant dans un conduit souterrain. Les premiers essais, faits avec des fils recouverts de caoutchouc, n'ont pas réussi.

L'importation en Europe de la gutta-percha a donné lieu à de nouvelles expériences.

239. **Gutta-percha.** — La gutta-percha est une substance solide analogue au caoutchouc ; elle fond à une assez basse température ; elle est inattaquable par les acides, se conserve bien dans l'eau et isole parfaitement l'électricité.

Pour travailler cette matière, on commence par la réduire en poudre et on la lave à l'eau chaude, afin de la séparer du sable et des corps étrangers qu'elle renferme. On la fait passer entre des laminoirs creux chauffés à l'eau chaude ou à la vapeur, et après plusieurs opérations successives on l'obtient sous forme d'une masse gommeuse très-malléable.

La préparation du fil recouvert est assez simple : on fait chauffer la gutta-percha dans un gros cylindre tel que A (*fig.* 111), de

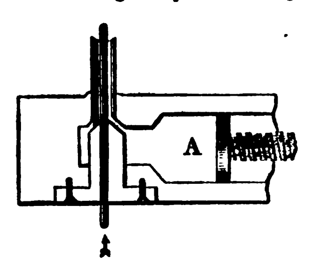


Fig. 111.

façon à la rendre à moitié fluide. Un piston la pousse fortement et la fait monter dans un petit tube que traverse le fil ; elle s'attache au cuivre, et le fil qu'on tire par la partie supérieure se trouve recouvert.

Pour essayer le fil recouvert de gutta-percha, c'est-à-dire pour s'assurer que l'enveloppe n'a pas de solution de continuité et ne peut donner lieu à des pertes de courant, on trempe la partie à essayer dans une cuve remplie d'eau acidulée, on fait communiquer l'une des extrémités du fil avec le pôle d'une pile, et on isole l'autre extrémité. Le second pôle de la pile communique par l'intermédiaire d'un galvanomètre avec une plaque qu'on fait plonger dans l'eau du vase. S'il y a un courant, il ne peut provenir que d'un contact entre le fil de cuivre et l'eau acidulée et, par suite, d'un défaut de l'enveloppe.

Quand on veut réunir deux bouts de fil, on les dénude à l'extrémité, on fait avec les deux fils de cuivre une petite torsade qu'on recouvre avec des feuilles de gutta-percha chauffées au-dessus d'un réchaud.

L'épaisseur de la couche de gutta-percha varie suivant l'usage qu'on veut faire du fil.

Celui qui est employé pour les lignes souterraines a ordinairement deux couches, dont la seconde est vulcanisée. On vulcanise l'enveloppe en ajoutant de la fleur de soufre pendant la préparation de la gutta-percha, ce qui lui donne plus de dureté.

Quelquefois on recouvre, en outre, les fils d'une gaîne de plomb destinée à augmenter leur durée en les mettant à l'abri des vers et des insectes.

Voici les prix de fils recouverts de gutta-percha de plusieurs modèles.

KILOGRAMME APPROXIMATIF PAR MYRIAMÈTRE.		PRIX du kilogramme de matière.	PRIX approximatif du myriamètre pour chaque matière.	PRIX DU MÈTRE.
FIL DE CUIVRE, UNE GAINE DE GUTTA-PERCHA.				
Cuivre, diamètre, 1 millim. 1/2.	180 kil. à	3 fr. »	540 fr.	
Gutta-percha non vulcanisée. Diamètre, 3 millim.	120 » à	10 fr. 50	1,290 »	
Poids total par myriamètre.	300 »		1,830 »	0 fr. 20
FIL DE CUIVRE, GAINE GUTTA-PERCHA.				
Cuivre, diamètre, 2 millim. . .	250 kil. à	3 fr. »	750 fr.	
Gutta-percha vulcanisée. Diamètre, 5 millim.	250 » à	10 fr. »	2,500 »	
Poids total par myriamètre.	500 »		3,250 »	0 fr. 35
FIL DE CUIVRE, DOUBLE GAINE.				
Cuivre, diamètre 2 millim. . .	250 kil. à	3 fr. »	750 fr.	
1° Gaine gutta-percha non vulcanisée, diamètre, 3 millim.	120 » à	10 fr. 50	1,260 »	
2° Gaine gutta-percha vulcanisée, diamètre, 4 millim. 1/2. .	200 » à	10 fr. »	2,000 »	
Poids total par myriamètre.	570 »		4,010 »	0 fr. 45
FIL DE CUIVRE, GAINE GUTTA-PERCHA ET PLOMB.				
Cuivre, diamètre, 1 millim. 1/2.	180 » à	3 fr. »	540 fr.	
Gutta-percha non vulcanisée, diamètre, 4 millim.	180 » à	10 fr. 50	1,890 »	
Plomb, diamètre, 3 millim. 1/2.	1,700 » à	1 fr. 30	2,210 »	
Poids total par myriamètre.	2,060 »		4,640 »	0 fr. 50

240. — Lorsqu'on veut établir une ligne souterraine, on fait dans le sol une tranchée de 1 mètre de profondeur, au fond de

laquelle on dépose les fils recouverts de gutta-percha entre deux couches de sable de $0^m,10$ d'épaisseur environ.

Quelquefois on place les fils dans un tuyau en terre ou en grès, ou dans un conduit en bois.

On établit, de distance en distance, des regards pour faciliter les recherches en cas de dérangement. Ce sont des massifs en maçonnerie traversés par une pièce de bois horizontale autour de laquelle on fait passer les fils pour qu'on puisse les couper quand il est nécessaire.

La gutta-percha s'altère assez promptement; il se produit une sorte de décomposition de la matière organique, et on constate au bout de deux ou trois ans des pertes de courant assez considérables pour empêcher la transmission.

En Prusse, presque toutes les lignes avaient été établies dans ce système; on a dû les remplacer par des lignes ordinaires.

En France, on a construit des lignes souterraines seulement pour la traversée de quelques villes. On a également été forcé de les abandonner.

Les fils recouverts d'une enveloppe de plomb n'ont pas donné de meilleurs résultats.

241. — On ne doit donc plus songer à employer la gutta-percha pour l'établissement des lignes souterraines, et, même en admettant qu'on arrive à lui faire subir une modification qui change ses conditions de durée, il est douteux qu'on renonce aux fils aériens pour les lignes d'une grande étendue.

Les frais de surveillance des lignes aériennes sont couverts par l'économie qui résulte de leur établissement[1]; on peut, sans autre dépense que celle des fils et des supports, ajouter des conducteurs supplémentaires; en cas de dérangement, la réparation se fait avec la plus grande facilité et sans aucun frais, tandis que, pour les

1. En admettant pour chaque section de surveillance une longueur de 50 kilom. et 1,000 fr. pour le traitement d'un surveillant, la dépense annuelle par kilomètre est de 20 fr. Cette somme correspond à un capital de 400 fr. qui est inférieur en général à la différence de prix de revient entre les lignes aériennes et les lignes souterraines.

lignes souterraines, les recherches sont souvent longues et dispendieuses; les courants de retour, qui sont assez intenses sur les fils souterrains, rendent la transmission plus lente et moins régulière que sur les autres lignes. Une expérience de plusieurs années a, d'ailleurs, suffisamment démontré que les accidents sur les lignes aériennes sont extrêmement rares.

Pour les traversées de villes, les conditions sont un peu différentes. Les conducteurs et leurs supports produisent un vilain effet; dans les grandes portées, la rupture des fils peut occasionner de graves accidents; en cas d'émeute, ils attirent naturellement l'attention et ne peuvent pas toujours être protégés efficacement. Il y a donc avantage à enterrer les fils, quelle que puisse être la dépense.

242. **Lignes en fil de fer et bitume.** — On a fait à Paris, dans le courant de l'année 1855, un essai de ligne souterraine formée de fils de fer déposés dans un lit de bitume. On pourra, dans quelques années seulement, porter un jugement définitif sur cette nouvelle espèce de ligne.

L'article suivant a été inséré à ce sujet dans les *Annales télégraphiques*, par M. Émile Saigey, inspecteur, chargé par M. le Directeur général de la direction des travaux [1].

« L'Administration française s'est arrêtée à l'idée de tendre les fils de fer dans une tranchée suffisamment profonde, et de couler sur eux à chaud un mastic bitumineux, de façon à former des blocs capables d'acquérir une grande dureté.

« Le mastic de bitume, composé convenablement, est un corps très-isolant. Son prix n'est pas fort élevé. On le travaille maintenant avec une grande perfection.

« On avait déjà antérieurement songé dans l'administration à isoler les fils au moyen du bitume. En 1844, une expérience de ce genre fut faite à Gaillon, sur le chemin de fer de Rouen. On plaça sous un passage à niveau quatre fils de cuivre encastrés dans du bitume, sur une longueur de dix mètres. Au mois de décembre

1. Nos de juillet et août 1855.

1854, on vérifia cet échantillon : les fils étaient parfaitement isolés ; le bloc de bitume avait acquis un telle solidité que la pioche ne pouvait l'entamer.

« Mais il fallait arriver à obtenir un espacement convenable des fils dans la masse du bitume. Il était désirable qu'on les plaçât assez près les uns des autres pour ne pas employer trop de matière. D'un autre côté, en les rapprochant, il y avait à craindre que ces fils, dilatés au moment de la coulée, ne vinssent à se déplacer, à se toucher l'un l'autre et à toucher la terre. Les fils de Gaillon, qui étaient en cuivre, par conséquent faciles à manier, et qui avaient été placés sur une très-petite longueur, offraient un espacement fort irrégulier.

« Si l'on eût eu affaire à un mastic capable de se figer instantanément, il eût suffi de le couler par parties en laissant glisser le long du faisceau de fils une espèce de rateau. Mais la solidification du bitume dure plusieurs heures. Le système du rateau n'était donc pas praticable.

« Des essais furent faits dans l'usine de MM. Baudouin frères, fabricants de bitume à Montrouge. On chercha à placer le long des fils, de distance en distance, de petits guides en matière isolante, porcelaine, terre cuite ; ils devaient maintenir les fils et ne leur permettre aucun mouvement jusqu'à ce que le mastic fût durci. Mais ces corps étrangers, que l'on emprisonnait dans le bloc, en compromettaient la solidité. On tenta d'employer des guides en bitume fabriqués d'avance ; mais ils se ramollissaient au contact du bitume chaud et manquaient leur effet.

« Voici enfin l'ingénieuse disposition qui fut adoptée : les fils télégraphiques étant tendus en nombre convenable, on les arrête à des intervalles assez rapprochés (25 centimètres, par exemple), au moyen de peignes en fonte à rainures verticales *rrrr* (*fig.* 112).

Sur une de leurs faces, ces peignes portent des volets ou clavettes VV, mobiles horizontalement autour d'une charnière C. On introduit le peigne entre les fils de haut en bas, les volets ouverts ; puis on ferme ces volets de façon à séparer les rangées horizontales. On dispose ensuite, le long du faisceau, des règles en bois. On a ainsi formé de petites cases ayant la largeur du faisceau et

une longueur de 25 centimètres. On coule alors le bitume chaud, de façon à laisser alternativement une case vide et une case pleine.

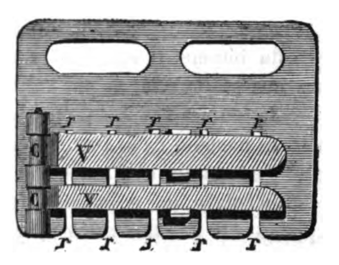


Fig. 112.

On attend que le bitume soit refroidi et durci, puis on retire les peignes de fonte en faisant jouer les volets ; il a fallu, pour cela, en les plaçant, tourner de part et d'autre du côté de la case vide la face qui porte les clavettes. Quand les peignes sont enlevés, on a une série de blocs bitumineux de 25 centimètres, séparés par des intervalles de 25 centimètres également, dans lesquels les fils sont restés à nu et se trouvent régulièrement tendus. On vient alors verser le mastic dans ces intervalles. Le bitume de la première coulée se réchauffe assez aux extrémités de la case pour se souder parfaitement avec la matière chaude ; mais il reste froid au milieu et maintient l'espacement des fils. On obtient de cette façon un bloc homogène dans lequel les fils, sur toute la longueur de leur parcours, conservent avec précision le même écartement.

« Telle est la disposition élémentaire d'après laquelle l'administration vient de faire construire dans Paris une ligne d'essai. Les travaux furent commencés à la fin du mois de mars de cette année (1856) et presque constamment gênés par le mauvais temps. Dans le courant de juin et de juillet, l'administration centrale se trouva reliée par la nouvelle ligne avec cinq ou six succursales télégraphiques de l'intérieur de Paris.

« Nous allons entrer dans quelques détails sur les conditions exactes dans lesquelles cette ligne a été construite.

« Les fils sont en fer. Ils ont été choisis d'un fort diamètre, pour

donner un facile écoulement à l'électricité. Ce sont des fils de 4 millimètres, les plus gros que l'administration française emploie pour les lignes qu'elle construit en l'air. Les fils sont galvanisés. Selon toute vraisemblance, le bitume ne peut exercer sur le fer aucune action chimique. Ce fut l'avis de M. Victor Regnault, le savant directeur de la manufacture de Sèvres, qui fut consulté à ce sujet. Mais, en tout cas, la couche de zinc dont le fer est revêtu arrêterait les actions oxydantes, et la grosseur du fil lui assurerait une longue durée, dans l'hypothèse d'une corrosion lente.

« Le mastic de bitume employé est composé de la façon suivante :

« On commence par fabriquer dans l'usine des pains qui contiennent : Roche asphalte de Seyssel ou du val de Travers, réduite en poudre. . . . . 100 kil.

« Bitume épuré de Bastennes, suivant la richesse de la poudre, de 7 à 9 kilogr., soit en moyenne. . . . 8

108 kil.

« Ces 108 kilog. se réduisent à 102 par la cuisson qui dure environ huit heures et se fait dans des chaudières à palettes tournantes.

« Ces pains sont apportés sur le travail ; et là on fait sur place un pudding, en prenant :

« Mastic en pains, ci-dessus désigné.	100 kil.
« Bitume de Bastennes, rajouté.	4
« Gravier bien lavé et bien séché.	50
	154 kil.

qui se réduisent, par la cuisson, à 147 kilog. Cette cuisson dure environ quatre heures et se fait dans les chaudières habituellement employées pour les travaux des trottoirs.

« La composition définitive en poids du pudding est donc environ :

« Asphalte de Seyssel ou du val de Travers. . . .	58k,75
« Bitume épuré de Bastennes.	7 24
« Gravier bien lavé.	34 01
	100k,00

« Dans ces proportions, le mastic est assez faible pour se modeler parfaitement sur les fils, et il devient, par le refroidissement, assez dur pour assurer la solidité de la ligne. Il conserve en même temps assez d'élasticité pour que les chocs ne le cassent pas facilement.

« Nous devons ajouter que ce mastic constitue le plus coûteux de tous les puddings bitumineux usités dans les arts. Il a paru nécessaire de s'en servir dans un premier essai. Mais tout fait espérer que l'on pourrait sans inconvénient employer des bitumes de composition inférieure et réduire ainsi notablement, peut-être de moitié, le prix de la matière première.

« Le gravier introduit dans le pudding doit être fin. Il faut lui faire subir deux tamisages. L'un pour le débarrasser des grains trop gros : le gravier passe alors à travers le tamis ; l'autre pour le débarrasser des particules terreuses : alors, au contraire, le gravier reste sur le tamis. Ces manipulations se font dans l'usine, et le gravier arrive tout préparé en sacs sur les travaux.

« Quand le gravier n'est pas bien purgé de terre, il peut se former dans les chaudières, sous l'influence de la chaleur, des aggrégations de matières qui se brûlent, deviennent charbonneuses et constituent alors un danger pour l'opération, car ces matières peuvent quelquefois conduire l'électricité.

« Pour que le travail d'établissement se fit sans confusion, et aussi pour faciliter les recherches que la ligne nécessitera peut-être ultérieurement, les fils ont été divisés dans une même tranchée en plusieurs conduites juxtaposées. Ces conduites contiennent dix, six ou quatre fils. Les fils y ont été établis en deux rangées horizontales, afin que les blocs aient une certaine épaisseur.

« Dans les conduites de dix et de six, l'espacement des fils d'axe en axe et l'espacement des fils extrêmes aux bords des blocs est de 27 millimètres.

« L'éloignement est plus grand dans les conduites de quatre, auxquelles il importait de donner une section relativement un peu forte afin qu'elles offrissent une résistance suffisante. Dans ces dernières, l'espacement des fils d'axe en axe, dans le sens horizontal, est de 4 centimètres, l'espacement dans le sens vertical, de

3 centimètres; les fils sont distants du bord inférieur de 4 centimètres, et des trois autres bords de 3 centimètres. On a reconnu, en effet, par expérience, que, pour éviter de petites communications intérieures entre les fils, il est surtout avantageux d'augmenter l'intervalle horizontal et la distance au bord inférieur.

« A chaque nature de conduite correspond naturellement une espèce particulière de peignes. On peut se les représenter facilement d'après l'appareil unique de la figure 112, qui est destiné à une conduite de dix fils.

« Cela posé, voici comment se fait le travail :

« On place au fond de la tranchée une couche de sable fin et sec.

« A l'origine de l'opération, on attache les fils à un point fixe quelconque, par exemple à une fiche fortement enfoncée en terre. Mais dans le courant du travail, ils se trouvent fixés naturellement par la partie qui est déjà encastrée dans le bitume.

« On les tend alors un à un sur une longueur de 60 à 80 mètres, de la façon suivante. Au point où on veut les arrêter est une planchette (*fig.* 113) en bois de chêne, carrée et de la largeur de la tranchée. Elle est fortement étrésillonnée.



Fig. 113.

« Cette planchette est munie de crochets *c c c* dans lesquels on engage par l'anneau *a* de petites mâchoires ou étaux à gorges *m*. (Voir *fig.* 104.)

« En arrière de la planchette on établit solidement une fiche de fer *B*, à laquelle on attache une paire de moufles *d d*. A cette paire de moufles est fixée une mâchoire *m'* qui tient dans sa gorge le fil *f f f* que l'on veut tendre. On tire alors sur la corde des moufles, et quand le fil a la tension convenable, on l'engage dans la gorge longitudinale de la mâchoire *m* et on serre l'écrou.

« Tous les fils viennent ainsi successivement s'attacher à la planchette P. La figure 113 n'en représente qu'un seul.

« Les bottes de fil employées n'ont guère que 200 mètres de longueur. Il est donc nécessaire de réunir souvent les fils bout à bout. On le fait ainsi qu'il suit. Les extrémités des deux fils sont aplaties au marteau, sur une petite enclume, puis limées en biseau sur une longueur de 5 centimètres environ. On les rapproche alors et on les maintient l'un contre l'autre au moyen de quelques spires d'un petit fil de fer. On les mouille avec un pinceau imbibé d'esprit de sel (chlorhydrate d'ammoniaque) dans lequel on a fait dissoudre du zinc. On verse alors sur les fils de fer de l'étain fondu. L'étain s'interpose entre les deux bouts et les soude parfaitement. On détache ensuite les spires du petit fil, et on entoure la soudure d'une ligature longue et serrée d'un autre petit fil de fer galvanisé. De petits renflements ménagés par la lime, aux extrémités des deux biseaux, assujettissent le système et empêchent tout glissement quand la ligature est faite. Voici les raisons de cette manière d'opérer. Si l'on se contente de ligaturer sans souder préalablement, le bitume chaud s'insinue entre les parties métalliques simplement rapprochées, et obstrue les contacts. Si, au contraire, on soude après avoir ligaturé, l'étain s'introduit bien à travers le petit fil pour réunir les deux biseaux, mais on peut craindre qu'il ne reste autour du fil mince un excès d'étain. Ce métal fond dans le bitume chaud. Il pourrait donc en résulter, d'un fil à l'autre, des communications métalliques. Les deux dangers que nous venons de signaler sont évités dans le système qui a été employé. Pour plus de précautions, on entourait encore les soudures de craie ou blanc d'Espagne (carbonate de chaux) ; cette substance réfractaire s'opposait à toute fusion de l'étain.

« Quand les fils sont tendus, on glisse sous le faisceau un lit de gros papiers. Ce papier est destiné à rendre plus unie la surface intérieure du bitume. On place alors les peignes, ainsi qu'il a été dit plus haut, de 25 en 25 centimètres.

« Le long du faisceau on établit les règles de bois qui forment parois latérales. Quand plusieurs conduites sont mises dans la même tranchée, une même règle en sépare deux. Les règles ont

été préalablement habillées d'une chemise de gros papier pour qu'elles ne puissent adhérer au bitume. Elles ont 2 mètres de longueur, 3 centimètres d'épaisseur; leur hauteur est de 10 centimètres. Elles sont un peu évidées dans le sens de la hauteur, c'est-à-dire plus épaisses en haut qu'en bas, pour pouvoir être retirées plus facilement. Vers leurs extrémités, elles sont percées verticalement de petits trous. De minces traverses en bois horizontales, munies de chevilles verticales, viennent s'engager dans ces trous et maintiennent ainsi l'espacement des parois.

« Les choses ainsi disposées, on commence à verser le bitume dans les cases de première coulée.

« Dans les essais primitifs, afin de se ménager le pouvoir de surveiller les fils, on introduisait le bitume en plusieurs couches qui refroidissaient successivement : une couche jusqu'au niveau du lit inférieur des fils, une couche jusqu'au niveau du lit supérieur, une légère couche encore au-dessus de ce dernier lit. Mais les couches se soudaient mal l'une à l'autre; à cause de leur peu d'épaisseur, le bitume froid n'était pas suffisamment réchauffé. De plus les fils se trouvant chaque fois placés à la surface de refroidissement, des dépôts d'humidité et de poussière, légèrement conductrice, pouvaient venir s'interposer entre eux. Ces inconvénients se manifestèrent dans les premiers essais par de légères dérivations qui se produisaient d'un fil à l'autre dans le sens horizontal; tandis que verticalement l'isolement était absolu. Le mal disparut dès que l'on commença à couler le bitume à pleine case. C'est donc de cette dernière façon que se fait maintenant le travail. Pendant le refroidissement, on surveille les fils dans la masse liquide au moyen d'un crochet qui permet de les sentir et de les redresser, s'il y a lieu.

« Deux heures environ après la première coulée, on enlève les peignes, et immédiatement on fait la coulée dans les cases restées vides, sans attendre que les surfaces verticales du bitume puissent être salies de poussière.

« On attend deux heures encore; puis on fait à la partie supérieure des blocs une légère coulée générale pour perfectionner tous les raccordements.

« Au bout de deux nouvelles heures de refroidissement, on enlève les règles de bois en en déchirant le papier; on tamise de la terre fine pour remplir les intervalles laissés par les règles et on commence à remblayer la tranchée.

« Les tranchées ont en moyenne 1 m,30 de profondeur. Leur largeur, qui est de 0m,75 quand on n'a qu'un bloc à y placer, est portée à 0m,90 environ quand on a trois blocs à conduire. Il est utile que la profondeur soit assez grande; le bitume ne doit pas être exposé à se fendiller par les ébranlements que les voitures impriment au sol. Dans certaines circonstances, il n'a pas été possible d'atteindre la profondeur normale. Des voûtes d'égouts, des maçonneries n'ont pas permis de descendre au-dessous de 40 à 50 centimètres. Des précautions spéciales ont été prises alors. Au-dessus des blocs on établissait une couche de sable de 2 centimètres; puis on coulait une couche de bitume de 3 centimètres environ d'épaisseur sur toute la largeur de la tranchée et sur tout l'espace où la ligne était exhaussée.

« La profondeur de la tranchée a encore un avantage. Elle met la ligne à l'abri des variations de température. La théorie indiquait, en effet, que le bitume et le fer auraient pu se dilater inégalement et que des fendillements en seraient résultés.

« Le voisinage des conduites d'eau, celui des conduites de gaz ont été évités. Les fuites d'eau pourraient, dans le cas où les blocs seraient fendillés, occasionner des pertes ou des contacts humides. Les produits ammoniacaux, dont le gaz n'est jamais débarrassé, pourraient à la longue décomposer les mastics, surtout si ceux-ci n'étaient pas parfaitement purs et contenaient des principes azotés. Chaque fois donc que la ligne n'a pu passer assez loin d'un gros tuyau d'eau ou d'un gros tuyau de gaz, l'épaisseur des blocs a été augmentée et une application de bitume a été faite, comme nous venons de l'indiquer, entre la conduite télégraphique et le tuyau.

« A cause des différents obstacles que l'on a rencontrés, il a été souvent nécessaire de racheter des différences de niveau. On y arrivait sans difficulté spéciale, en donnant aux blocs, sur une longueur suffisante, une pente de 1/15 et en espaçant les peignes seulement de 15 centimètres. Quand on était obligé d'adopter une

pente plus forte, il fallait qu'un homme, armé d'une palette de bois, ramenât sans cesse le bitume dans chaque case, de bas en haut, jusqu'à ce que la masse eût atteint, par le refroidissement, une consistance suffisante. Il a souvent été préférable, quand la différence de niveau n'était pas trop grande, de faire directement une montée verticale entre quatre planches, par couches successives, et en s'aidant d'un peigne pour maintenir les fils.

« Les tournants sont faits à angle droit, au moyen d'un peigne spécial qui se place à 45° entre l'ancienne et la nouvelle direction. Dans ce peigne, les rainures, au lieu d'être perpendiculaires aux faces, sont inclinées sur elles à 45°, de sorte que leur espacement estimé suivant ces faces est égal à celui des autres peignes multiplié par $\sqrt{2}$. De cette façon les fils conservent dans les tournants la même distance que dans les lignes droites.

« Il eût été avantageux, sans doute, d'établir de distance en distance, le long de la nouvelle ligne, des regards, c'est-à-dire des appareils où les fils pussent être facilement coupés pour la recherche des dérangements. Mais on s'en est abstenu, parce que aucun type convenable n'a été trouvé pour ces appareils.

« Pour être utile, le regard a besoin d'être accusé extérieurement, sans quoi les repères qui l'indiquent disparaissent, et il se perd. Le but serait rempli par une plaque de fonte semblable à celle des égouts, encastrée dans un châssis de bois et supportée par une maçonnerie de briques. Mais la boîte du regard a besoin d'être facilement abordable. Il faut donc qu'il n'y ait presque rien d'interposé entre elle et la plaque de fonte extérieure. De plus, la boîte doit être ouverte facilement et les fils doivent pouvoir y être coupés en un instant. De ces conditions naissent mille dangers pour la ligne; l'isolement devient incertain; en employant des commutateurs ou de contacts à vis et à pression pour obtenir une interruption facile, on compromet la continuité métallique.

« On a donc provisoirement construit une ligne continue et sans interrupteurs. Un seul regard a été ménagé pour les principaux fils, en déviant la ligne à travers un bâtiment public. Mais rien n'empêchera, dès qu'un système convenable aura été trouvé, de construire des regards après coup.

« En attendant qu'ils soient établis, il n'y aura, d'ailleurs, aucune difficulté à couper les fils en un point donné, quand cela sera nécessaire pour la recherche des dérangements. En plaçant du bitume chaud autour du bloc, on ramollit ce dernier de façon à pouvoir le tailler avec un couteau. On dénude ainsi les fils et on peut les couper. Les soudures et le raccordement du bitume se font ensuite aisément.

« Nous terminerons cet article en indiquant les prix auxquels, dans la ligne d'essai, sont revenus, par mètre courant. les conduites de dix, de six et de quatre fils. Nous laissons seulement de côté la dépense des tranchées.

	CONDUITES		
	DE 10 FILS.	DE 6 FILS.	DE 4 FILS.
Mastic bitumineux employé à 11 fr. 50 les 100 kilog.	3 fr. 80	2 fr. 65	2 fr. 59
Transport à pied-d'œuvre de la matière et de l'équipement, 5 °/o de la matière employée	0 19	0 13	0 13
Combustible, 11 °/o de la matière employée. . . .	0 42	0 29	0 28
Fil de fer de $0^{m},004$ de diamètre à 0 fr. 76 le mètre .	0 76	0 46	0 30
Sable.	0 11	0 11	0 11
Papier et clous.	0 07	0 07	0 07
Main-d'œuvre.	1 04	0 80	0 68
Outillage.	0 26	0 26	0 26
	6 fr. 65	4 fr. 77	4 fr. 42

« Ces prix, établis pour une ligne d'essai, seraient sans doute notablement réduits si l'on opérait sur une grande échelle. Nous avons dit, d'ailleurs, qu'il y aurait peut-être lieu d'employer des puddings bitumineux d'un prix moins élevé. »

LIGNES SOUS-MARINES.

243. — Le premier essai de télégraphe sous-marin fut exécuté entre l'Angleterre et la France, le 28 août 1850. Un fil de cuivre, recouvert d'une enveloppe de gutta-percha, de 6 millimètres 1/2 d'épaisseur, devait être posé entre Douvres et le cap Grinez. Le fil, enroulé sur un grand tambour, fut placé sur un navire, et l'opération s'effectua avec un plein succès pendant la traversée, qui dura 8 ou 9 heures. A mesure que le navire avançait, le fil, en se déroulant, était entraîné au fond de l'eau par des poids de plomb de 8 à 10 kilogrammes qu'on attachait tous les 100 mètres environ. Le bâtiment arriva au cap Grinez à huit heures du soir, et quelques signaux furent échangés entre les deux rives. Malheureusement, peu d'instants après, le fil fut brisé contre les rochers qui avoisinent la côte, et l'opération dut être recommencée dans de nouvelles conditions.

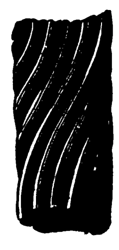




Fig. 114.

La rupture du premier fil ayant démontré la nécessité d'entourer les fils conducteurs d'une enveloppe très-résistante, capable de les protéger contre les chocs des galets et des ancres, on construisit, en Angleterre, un câble formé de quatre fils de cuivre de 1 millimètre 1/2 de diamètre, entourés chacun de deux couches de gutta-percha ayant ensemble 2 millimètres d'épaisseur. Ces quatre fils furent séparés les uns des autres et enveloppés avec de l'étoupe goudronnée; pour former l'enveloppe extérieure, on enroula en hélice dix fils de fer galvanisés de 4 millimètres de diamètre (*fig*. 114).

On obtint ainsi un immense câble assez souple pour pouvoir

s'enrouler sur un grand tambour et dont la longueur fut calculée sur la distance à parcourir ; il pesait 175 tonnes. Ce câble fut placé sur un bâtiment à vapeur qui, parti du cap Southerland (à 6 kilomètres de Douvres), le 26 septembre 1851, arriva le jour même en vue du cap Sangatte (à 5 kilomètres de Calais).

Pendant la traversée, le câble se déroulait et s'étendait en vertu de son propre poids au fond de la mer, dont la profondeur ne dépasse pas 75 mètres entre ces deux points.

Le navire, entraîné par un vent contraire, ne put suivre la ligne droite, et le câble, s'étant trouvé trop court, on dut abandonner l'extrémité à un kilomètre de la côte française. On ajouta provisoirement un simple fil recouvert de gutta-percha ; c'est seulement deux mois après qu'on put achever définitivement le travail, qui revint à environ 280,000 francs.

Ce câble a été plusieurs fois atteint par les ancres de navire, mais il a résisté jusqu'à présent, et a pu fonctionner presque sans interruption.

Depuis cette époque, d'autres câbles sous-marins ont été posés ; ils sont construits de la même manière et ne varient que par le nombre des fils conducteurs et les dimensions des fils qui forment l'enveloppe extérieure.

Les principaux sont les suivants :

De Douvres à Ostende.	112	kilomètres.
De la Spezzia au cap Corse.	145	—
De l'Ile de Corse à la Sardaigne. . . .	19	—

244. — La fabrication des câbles sous-marins constitue, en Angleterre, une industrie toute spéciale.

On enroule les fils conducteurs, recouverts préalablement de gutta-percha, sur des cylindres rangés autour d'un centre commun. Les fils de fer sont placés sur d'autres cylindres disposés comme les premiers, mais qui sont animés d'un mouvement de rotation horizontale autour du centre, en même temps qu'ils tournent sur leur axe quand les fils se déroulent.

Tous les fils passent par un anneau central d'où le câble, tiré par la partie supérieure, sort tout préparé.

On préserve la gutta-percha de tout contact avec les fils de fer

en interposant de l'étoupe ou de la toile goudronnée, pour empêcher la déformation des fils conducteurs et augmenter l'isolement.

Les câbles doivent, autant que possible, être d'une seule pièce, les raccordements des différents bouts de fil étant faits pendant la fabrication. Quand on est obligé de réunir deux câbles différents, on fixe solidement les enveloppes extérieures par de fortes plates-bandes en fer.

Afin de diminuer le poids des câbles, on rend souvent l'enveloppe extérieure moins épaisse au milieu qu'aux extrémités destinées à se trouver près des côtes.

245. — L'établissement des lignes sous-marines n'a pas toujours réussi. Quelques câbles, dont la pose s'est effectuée dans de bonnes conditions, ont été rompus au bout de peu de temps[1].

Pour d'autres, la pose n'a pu se faire complétement, et l'on a dû abandonner toute la partie du câble immergée sans espoir de la retrouver pour l'employer de nouveau[2].

L'immersion du câble est, en effet, la partie la plus difficile et la plus délicate de l'opération.

Le câble, disposé en rouleau sur le navire, passe sur un grand tambour autour duquel il fait plusieurs tours, glisse sur l'avant et tourne ensuite sur une roue placée à l'arrière d'où il tombe au fond de l'eau. On fait communiquer l'extrémité avec un appareil télégraphique, et pendant tout le temps que dure le travail on peut correspondre avec le point de départ et s'assurer de l'état de la partie plongée.

Tant que la profondeur reste à peu près la même, le mouvement des tambours se règle avec des freins, et le déroulement du câble s'opère facilement; mais il existe des vallées sous-marines très-profondes, et, le câble tirant avec une force égale au poids de la partie suspendue, si le changement de niveau est subit, entraîne avec une effrayante rapidité la portion qui reste sur le navire; les freins sont alors impuissants pour arrêter le mouve-

1. Le premier câble posé entre l'Angleterre et l'Irlande; celui de Varna à Balaclava, etc.

2. On a échoué deux fois dans la pose du câble entre la Sardaigne et l'Algérie.

ment, et l'on est obligé d'abandonner l'opération pour sauver le vaisseau. Il faut joindre à cette cause d'insuccès la chance de tempête ou de gros temps qui peut faire dévier le bâtiment.

Avec des freins assez puissants pour résister à l'entraînement, on pourrait atteindre les sommets voisins de deux montagnes sous-marines, et si la profondeur était telle que le câble ne pût reposer au fond de la mer, il décrirait entre ces deux points fixes une courbe analogue à celle d'un fil librement suspendu dans l'air.

La distance des deux points entre lesquels le câble peut être arrêté, a une limite, car il pourrait arriver que la tension fût supérieure à la résistance du câble, qui romprait en vertu de son propre poids.

On sera sans doute obligé, dans beaucoup de cas, de modifier la composition des câbles sous-marins et de diminuer leur poids au dépens de leur solidité, en remplaçant les fils de fer extérieurs par des cordes de chanvre, ou seulement leur densité en les entourant d'une substance plus légère que l'eau.

CHAPITRE VIII.

Appareils divers.

246. — La forme des appareils télégraphiques peut être variée à l'infini ; aussi n'entreprendrons-nous pas la description de tous les systèmes qui ont été proposés jusqu'à ce jour. Si l'on doit voir avec plaisir les efforts qui sont tentés dans le but d'améliorer les moyens de transmission, c'est avec la plus grande réserve qu'on doit se prononcer sur le mérite réel des résultats obtenus.

Beaucoup d'appareils, qui, au premier abord, paraissent séduisants et donnent même d'assez bons résultats quand les expériences sont faites dans des circonstances favorables, ne pourraient résister à une épreuve tentée en grand, parce qu'ils ne présentent pas toutes les conditions de simplicité indispensables pour des instruments destinés à être mis entre les mains d'un grand nombre d'employés.

Il est possible qu'on arrive un jour à remplacer l'appareil à cadran et l'appareil Morse par d'autres plus satisfaisants ; mais un changement de système apporte une telle perturbation dans le service, qu'une pareille décision ne peut être prise que s'il doit en résulter des avantages sérieux et bien certains.

Nous allons parcourir, sans entrer dans aucun détail de construction, les divers modes d'appareils, qu'on peut classer en plusieurs catégories distinctes.

APPAREILS A CADRAN.

217. — Les signaux sont marqués d'avance sur un cadran fixe. Une aiguille parcourt ce cadran par une série de mouvements successifs et s'arrête, à la volonté de celui qui transmet, devant l'un quelconque des signes.

Le manipulateur est formé d'une roue, dite interruptrice, sur le pourtour de laquelle sont incrustées des lames alternativement isolantes et conductrices. Toutes les lames conductrices communiquent ensemble au fil de la ligne; un ressort fixe, relié au pôle de la pile, appuie sur la circonférence.

Quand on tourne cette roue, le courant passe donc sur la ligne autant de fois que le ressort touche de lames métalliques, et ce nombre dépend de l'angle de rotation fait par la roue.

Pour que le correspondant puisse transmettre à son tour, on place un second ressort qui appuie sur une lame métallique quand le premier presse une lame isolante; ce ressort est relié au récepteur dans lequel se rend le courant qui vient de la ligne.

On peut remplacer avec avantage la roue interruptrice par un disque à gorge sinueuse mettant en mouvement un bras de levier comme le montre la figure 5, planche 11.

Chaque passage de courant dans le récepteur aimante un électro-aimant, qui attire une palette mobile en fer doux et fait avancer d'un cran l'aiguille indicatrice fixée sur le prolongement d'une roue munie d'autant de dents que le cadran porte de signaux.

Pour quelques appareils, la palette fait directement tourner la roue dentée; pour d'autres, le mouvement est imprimé à cette roue par un mécanisme d'horlogerie, et chaque oscillation de la palette laisse échapper une dent.

Les signaux qui sont écrits sur le cadran sont ordinairement les lettres de l'alphabet, souvent on en supprime quelques-unes, d'un usage peu fréquent, qu'on remplace conventionnellement par d'autres.

Tantôt, il faut un mouvement complet de la palette et par suite

une émission et une interruption de courant, pour faire avancer l'aiguille de l'espace qui sépare deux lettres ; tantôt une émission de courant la fait avancer d'une lettre, et une interruption la fait avancer d'une seconde. Ce dernier système est préférable puisqu'il rend la transmission plus rapide.

248. **Récepteurs à mouvement direct.** — On peut leur donner la forme suivante : E (*fig.* 115) est l'électro-aimant ; *ab* la palette, mobile autour de deux vis projetées en *a*; *ad* la tige dont la partie

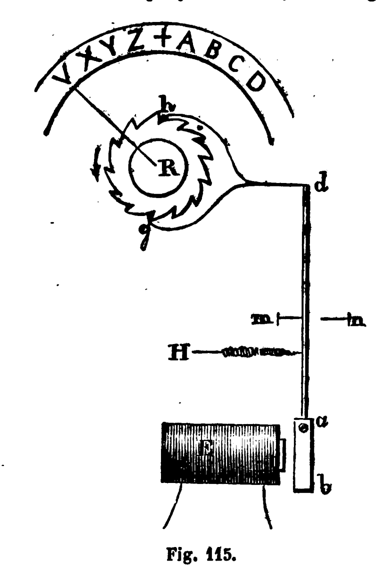


Fig. 115.

supérieure forme une sorte d'ancre *dgh*. La roue R, fixée au même axe que l'aiguille indicatrice, est munie de dents entre lesquelles viennent s'engager les deux petites pointes *h* et *g* de l'ancre *dhg*.

Un premier mouvement de la palette pousse l'extrémité *d* vers la droite, la pointe *g* entraîne la roue, et la pointe *h*, glissant sur la partie inclinée de la dent supérieure, vient tomber entre les deux dents suivantes ; quand la palette revient à sa première po-

sition sous l'action du ressort de rappel H, la pointe *h* pousse la roue dans le sens de la flèche, et la pointe *g* vient à son tour s'engager entre deux nouvelles dents.

Chaque mouvement complet de la palette fait donc tourner la roue de l'angle qui correspond à une dent, de 1/13 de la circonférence s'il y a 13 dents.

Les appareils à mouvement direct sont si simples qu'ils seraient sans doute préférables aux autres, s'il ne fallait, pour les faire marcher, quand on donne à la roue dentée et à l'aiguille des dimensions convenables, un développement de force magnétique assez grande, qu'on obtient difficilement sur les longues lignes. Ils peuvent être employés dans les établissements industriels où l'on n'a jamais à correspondre qu'à de petites distances.

249. **Récepteurs à mouvement d'horlogerie.** — L'appareil à cadran et l'appareil français à signaux décrits au 4e chapitre et représentés planches 2 et 3, peuvent servir comme types.

Un perfectionnement ingénieux a été introduit dans ces derniers temps par M. Breguet.

Il arrive souvent que le récepteur d'un poste n'est pas d'accord avec le manipulateur du poste qui transmet, ce qu'on reconnaît de suite à l'incohérence des lettres transmises. L'employé qui reçoit peut quelquefois, en pressant sur le bouton placé au-dessus de l'appareil, faire avancer l'aiguille et rétablir la concordance, mais, dans la plupart des cas, il est obligé d'interrompre son correspondant et de faire revenir son aiguille sur la croix. Cette opération est assez longue, puisqu'il faut presser treize fois sur la palette pour obtenir un tour entier; si l'aiguille dépasse le point fixe, il faut lui faire décrire un second tour.

Avec la disposition suivante, en appuyant légèrement sur le bouton, on fait avancer l'aiguille d'un seul cran, et, en pressant plus fortement, on la fait arriver instantanément à la croix.

Le bouton placé sur l'appareil, au lieu de faire mouvoir une petite lame recourbée qui appuie sur la palette, comme dans la figure 4, planche II, est placé à l'extrémité d'une longue tige verticale *dab* (fig. 116), que le ressort à boudin *h* maintient soulevée. L'axe X Y porte en même temps que l'ancre d'échappement Z une

petite lame horizontale *b c* que vient presser l'extrémité de la tige *d a b* quand on appuie sur le bouton *d*. Si on appuie légèrement,

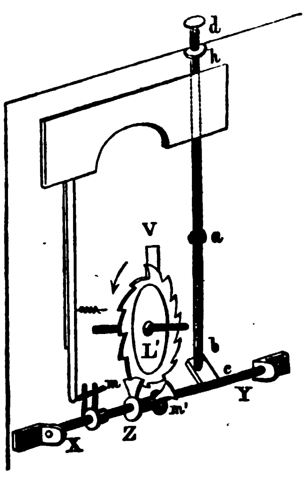


Fig. 116.

la lame *c b*, en s'inclinant, fait mouvoir l'axe X Y et l'ancre d'échappement Z ; à chaque pression une dent de la roue L s'échappe, et l'aiguille indicatrice avance d'une division.

Si, au contraire, on appuie fortement, la lame *cb* s'abaisse et fait passer la dent *m'* au delà de la roue d'échappement L, qui, se trouvant entièrement dégagée, tourne avec rapidité en entraînant l'aiguille ; la rotation s'arrête promptement, parce que l'axe L porte une pointe V qui vient buter contre le renflement *a* de la tige *db*.

Au moment où la tige *db* se relève un peu, le renflement *a* dégage l'arrêt V, mais la lame *m'* de l'ancre d'échappement vient s'engager de nouveau entre les dents de la roue L, et enfin quand la tige se soulève entièrement, la dent *m* vient à son tour arrêter le mouvement ; le récepteur se trouve à l'état normal.

L'arrêt de la roue L a donc toujours lieu pour la même position

de l'aiguille, et s'il correspond précisément au moment où elle se trouve en face de la lettre Z, il est clair qu'en abaissant fortement la tige et la laissant se relever promptement, on amènera instantanément l'aiguille d'une position quelconque à la croix, elle passera sur le Z pendant le temps très-court que la lame *m'* met à revenir en face de la roue L.

La tige de la palette doit être un peu modifiée, pour que la fourchette et la tige puissent s'incliner avec l'ancre ; on la termine par un ressort qui ne l'empêche pas de faire osciller l'axe XY. C'est l'action de ce ressort qui ramène l'ancre Z à sa position ordinaire quand la tige *dab* cesse d'appuyer sur la lame *cb*.

Une autre amélioration consiste dans la suppression du fil qui s'enroule sur une petite poulie, et au moyen duquel on tend le ressort de rappel ; ces fils, en se cassant, donnent lieu à des dérangements assez fréquents.

Le ressort de rappel se fixe à l'extrémité d'un levier coudé qu'on éloigne plus ou moins pour tendre le ressort en tournant l'axe d'un petit cadran disposé à l'extérieur comme celui de l'appareil ordinaire.

250. **Manipulateur à clavier.** — On fait ordinairement mouvoir à la main la roue interruptrice du manipulateur, et en lui faisant décrire un certain angle, on produit autant d'émissions de courant qu'il en faut pour amener l'aiguille indicatrice du poste correspondant devant la lettre qui doit être transmise.

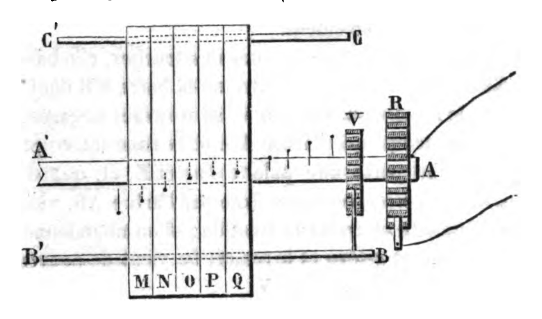
Si la roue tournait d'elle-même d'un mouvement uniforme, sous l'action d'un mécanisme d'horlogerie, il suffirait de l'arrêter à des intervalles de temps déterminés pour arriver au même résultat.

Tel est le principe du manipulateur de M. Froment :

Il est formé d'un clavier semblable à celui d'un piano, sur les touches duquel les lettres sont marquées ; quand on appuie sur l'une quelconque de ces touches, l'aiguille du récepteur au poste voisin se met en marche et s'arrête en face de la lettre correspondante.

La roue interruptrice R (*fig.* 117) est fixée à l'extrémité d'un arbre en acier A'A qui s'étend au-dessous des touches dans toute la longueur du clavier ; cet arbre, qui porte en outre une roue

dentée V, est mis en mouvement par un mécanisme d'horlogerie qu'on n'a pas représenté dans la figure.



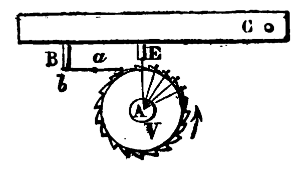


Fig. 117.

Le nombre des dents de la roue V est égal à celui des lames métalliques de la roue R et à celui des lettres écrites sur les touches du clavier et sur le cadran du récepteur. Un ressort appuie sur la roue interruptrice et fait communiquer le fil de la ligne avec le pôle de la pile chaque fois qu'il touche une lame métallique.

Sur l'arbre A'A et au-dessous des touches sont implantées des tiges rangées en hélice, dont chacune correspond en projection à l'une des interruptions de la roue R.

Sous la partie antérieure du clavier se trouve une lame B'B qui s'abaisse quand on appuie sur l'une quelconque des touches et se relève d'elle-même dès qu'elle n'est plus pressée.

En face de la roue dentée V est un ressort *ba* mobile autour de *a*; il se termine par une pointe engagée dans les dents de la roue V et arrête le mouvement.

Lorsqu'on appuie le doigt sur une des touches, elle bascule autour de l'axe C'C, s'abaisse et entraîne la barre B'B dont l'extrémité presse le ressort *ba*. La roue V, se trouvant dégagée, tourne alors en même temps que l'arbre A'A et la roue interruptrice.

Chaque touche porte une palette d'arrêt E, et, quand elle est abaissée, la tige correspondante, fixée sur l'arbre AB, vient buter contre cette palette et arrête la rotation; si on abandonne la touche, la barre BB' se relève et le ressort *ba* vient de nouveau s'engager entre les dents de la roue V.

Ainsi, après avoir posé les doigts sur une première touche, si on le pose sur une seconde, l'angle dont tourne la roue interruptrice est égal à l'angle des deux tiges correspondantes plantées sur l'arbre AB, et le nombre des émissions de courant est égal au nombre de lettres qui séparent, sur le clavier et sur le cadran du récepteur, les deux qui ont été touchées.

Si donc il y a accord une fois entre le manipulateur et le récepteur, cet accord subsistera indéfiniment.

Le mouvement de l'arbre AB pouvant être très-rapide, on peut, avec ce manipulateur, obtenir une grande vitesse de transmission et une grande régularité dans les interruptions de courant.

251. **Appareil à cadran de M. Siemens.** — Cet appareil sert en Prusse pour la transmission des dépêches des Compagnies de chemins de fer.

Il se distingue des autres en ce qu'il n'y a pas de manipulateur. L'aiguille tourne d'elle-même d'un mouvement continu autour du cadran; quand on l'arrête au moment où elle passe sur une lettre, l'aiguille du poste correspondant s'arrête également et fait connaître la lettre transmise.

Le principe est le même que celui des trembleurs.

Imaginons deux trembleurs semblables à celui de la fig. 91, placés à deux postes voisins et reliés par le fil de la ligne, une pile étant dans le circuit.

Au moment où les deux tiges (ODC), cédant à l'action des

ressorts de rappel (IH), touchent les vis (m), le circuit de la pile se ferme et les deux palettes sont attirées par les électro-aimants; leurs tiges s'écartent des vis de repos, le circuit se rompt en même temps aux deux postes et les deux palettes reviennent à leur première position ; le mouvement continue indéfiniment. Si on arrête une des palettes au moment où elle est attirée par l'électro-aimant, en l'empêchant de venir toucher la vis m, la palette de l'autre poste s'arrête évidemment d'elle-même.

On peut supposer chaque palette disposée de façon à faire tourner une roue dentée et une aiguille (comme dans les appareils à cadran ordinaires).

Les deux aiguilles tournent donc simultanément, et, si elles sont d'accord à un moment donné, quand on arrêtera l'une d'elles, l'autre s'arrêtera sur la même lettre.

Lorsqu'on arrête une des palettes au moment où elle est attirée, celle de l'autre poste cède à l'action de son ressort de rappel et l'aiguille avance d'un cran, mais s'il faut une oscillation complète pour faire avancer l'aiguille d'une lettre, cette différence d'une demi-division n'a aucun inconvénient.

252. — L'appareil construit d'après ces données est assez compliqué ; en voici les principales dispositions :

E et E′ sont les deux pôles de l'électro-aimant qui sont arrondis d'un côté et plats de l'autre (*fig.* 118).

L'armature AA′ a la forme d'un S renversé, elle est mobile autour de son centre et fait osciller deux bras ; à l'un d'eux, cb, est fixé le ressort de rappel ba qu'on tend au moyen d'une vis ; l'autre bras CBE, plus long et recourbé en B, porte, à l'extrémité E, une tige avec crochet Ed qui s'engage sur les dents de la roue M. Un ressort mn empêche cette roue de tourner dans un autre sens que celui de la flèche. Quand l'électro-aimant est attiré, la tige CBE se soulève, et le crochet d passe sur une dent voisine de la roue ; si l'électro-aimant revient à l'état naturel, la roue M tourne et entraîne dans son mouvement l'aiguille MN.

La partie de l'instrument qui forme trembleur est désignée sous le nom de navette ; c'est une tige HG, mobile autour de H ; elle est munie de deux appendices évidés x et y. Une noix t, fixée à

la tige CB, se meut entre les deux appendices x et y, et, en pressant contre leurs extrémités, fait mouvoir alternativement, dans

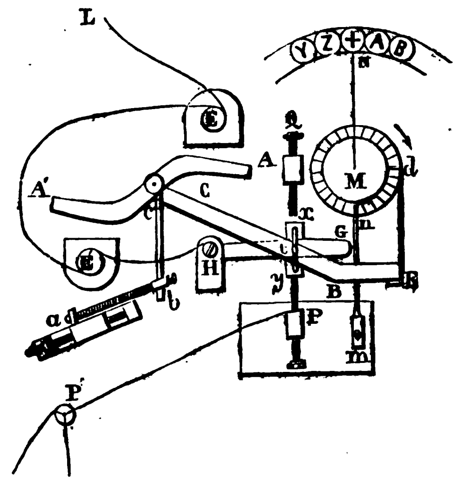


Fig. 116.

les deux sens, la navette dont les deux vis P et Q limitent la course.

Le fil qui entoure l'électro-aimant communique, d'une part, en L, avec le fil de la ligne, de l'autre avec l'axe H de la navette.

La vis P est reliée par le fil PP′ avec la terre quand on doit recevoir, et avec le pôle actif de la pile quand on transmet ; un commutateur P′ sert à opérer ce changement.

Lorsque les deux correspondants sont en transmission, une seule des piles est dans le circuit, le courant traverse le fil de l'électro-aimant E, passe dans la navette, et le circuit se complète par l'appendice y, la vis P et le fil PP′.

L'armature AA′ est attirée et le bras CBE se lève en même temps que la tige Ed dont le crochet passe sur la dent suivante de la roue M. Le circuit persiste pendant tout le temps que la noix t met à parcourir l'espace qui sépare les extrémités des deux ap-

pendices x et y ; elle soulève alors la navette, le circuit se rompt et l'électro-aimant revient à l'état naturel ; l'armature étant tirée par le ressort de rappel ab, la tige Ed s'abaisse et fait tourner la roue M.

L'aiguille MN tourne au-dessous d'un clavier circulaire, formant galerie, sur les touches duquel les lettres sont inscrites. Chaque touche porte à la partie inférieure une pointe d'acier qui, lorsqu'on l'abaisse, arrête à son passage l'aiguille et la roue M ; la tige Ed reste soulevée, et, le circuit étant rompu entre la vis P et l'appendice y, l'aiguille du poste correspondant s'arrête également.

Les pointes d'acier doivent être disposées de façon que l'arrêt de l'aiguille ait lieu un peu avant qu'elle atteigne le milieu de la lettre, c'est-à-dire avant que la noix t ne touche l'appendice y et ne ferme le circuit.

Quand on abandonne la touche, les deux aiguilles continuent leur mouvement de rotation.

L'appareil est placé dans une boîte qui laisse seulement voir à l'extérieur le clavier circulaire et une aiguille indicatrice fixée au même axe que la roue M et que l'aiguille MN.

A l'état de repos, l'aiguille est en face de la croix, et le fil PP′ communique avec la terre aux deux postes correspondants. Comme aucune pile n'est dans le circuit, aucun mouvement ne se produit.

Quand, à l'un des postes, on veut envoyer une dépêche, on établit la communication avec la pile, en P′, et les deux aiguilles se mettent en marche. On transmet alors successivement chacune des lettres qui composent la dépêche, en appuyant sur la touche correspondante et l'y laissant jusqu'au moment où l'aiguille vient s'arrêter en face.

L'employé qui reçoit suit des yeux l'aiguille de son appareil et lit les lettres devant lesquelles elle s'arrête. Il peut, sans mettre sa pile dans le circuit, arrêter aussi le mouvement et interrompre la correspondance pour faire répéter les mots mal compris, ou indiquer qu'il a bien reçu ceux qu'on lui a transmis.

Quand la transmission est achevée, on rétablit la communication avec la terre et les deux aiguilles restent stationnaires.

Le commutateur P′ est extérieur ainsi que l'extrémité de la vis

avec laquelle on peut tendre plus ou moins le ressort de rappel. Un bouton spécial permet, comme dans les récepteurs ordinaires, de faire avancer l'aiguille directement quand il y a désaccord entre les deux appareils.

L'appareil porte en outre une sonnerie construite d'après le même système. L'électro-aimant fait mouvoir un bras de levier semblable à CBE qui fait osciller un marteau en face d'un timbre.

On met cette sonnerie en communication avec la ligne, et, c'est seulement quand on entend l'appel du correspondant ou quand on veut lui transmettre, qu'au moyen d'un commutateur on fait communiquer la ligne avec l'appareil.

APPAREILS ÉCRIVANTS.

253. — Les appareils écrivants ont le grand avantage de conserver la trace des dépêches; ils n'exigent pas une attention aussi soutenue de la part des employés, qui, en cas d'erreur de lecture, peuvent parcourir la bande de papier renfermant la transmission, et la découvrir sans faire répéter la dépêche ; enfin le contrôle se fait avec sûreté, tandis qu'il est à peu près impossible avec les récepteurs à cadran.

De tous les appareils écrivants, le plus simple et le plus pratique est l'appareil Morse décrit au IVᵉ chapitre.

On a proposé divers moyens pour obtenir des signes marqués en noir sur un fond blanc dans le but de les rendre plus visibles, sans toutefois modifier leur forme, car il importe que le remplacement d'un appareil à un poste n'entraîne aucun changement aux postes correspondants; aucun d'eux ne vaut le gaufrage du papier dans les postes intermédiaires où l'appareil doit à certains moments servir de translateur.

Le premier consiste à remplacer la pointe sèche par une petite plume creuse percée à l'extrémité d'une ouverture capillaire. Cette plume, en communication avec un réservoir plein d'encre, est constamment remplie, mais, à cause de la petitesse de l'ouverture, l'encre ne peut sortir que pendant son contact avec le papier ;

un petit tube en caoutchouc fixé à la plume forme la soudure et permet au levier de se mouvoir.

D'après un autre système présenté récemment, les signaux sont marqués par un disque de cuivre plongé à moitié dans un bassin plein d'encre de Chine. Ce disque est relié à la palette de l'électro-aimant, et, en s'avançant à chaque oscillation, vient toucher le papier qui se déroule en face à une très-petite distance.

La bande de papier, tirée par un mécanisme d'horlogerie, fait tourner une roue qui communique son mouvement de rotation à l'axe du disque par l'intermédiaire d'une petite courroie; cette rotation n'empêchant pas le disque d'avancer en même temps que la palette, il vient toucher le papier au moment où il sort du bain et se trouve toujours imprégné d'encre.

On avait songé dans le principe à faire marquer les signaux par un crayon, mais la pointe s'émoussant rapidement, on était obligé de le tailler très-fréquemment.

M. Froment a résolu cette difficulté en disposant l'appareil de façon que le crayon tourne sur son axe à chaque mouvement qu'il exécute; il est incliné sur le papier et s'use régulièrement dans tous les sens.

254. **Appareil de M. Froment.** — La palette AB de l'électro-

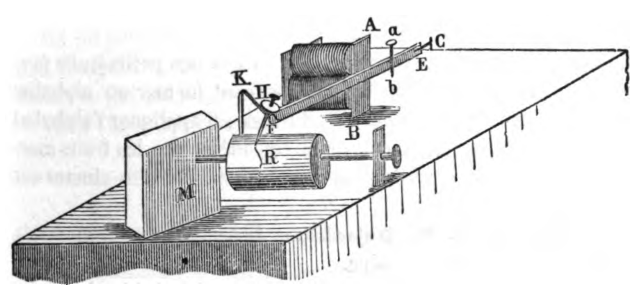


Fig. 119.

aimant (*fig.* 119) est fixée à la tige FE mobile autour de l'axe vertical *ab*.

Le crayon est placé dans un porte-stylet incliné à l'extrémité de la tige EF, il traverse à frottement une petite roue dentée H et appuie sur le papier sur lequel il laisse la trace d'une ligne droite. Si le courant passe autour de l'électro-aimant E, la palette est attirée et le crayon marque à chaque mouvement de petites lignes perpendiculaires dont le nombre et l'espacement forment des signaux.



Le ressort de rappel est, soit un ressort à boudin, soit une lame d'acier c qui presse sur l'extrémité de la tige FE et tend à éloigner la palette de l'électro-aimant. En K se trouve un ressort terminé par une petite pointe qui est engagée dans les dents de la roue et la fait tourner en même temps que le crayon à chaque mouvement de va et vient.

On enroule le papier sur un tambour R en collant les deux bords pour qu'il forme une enveloppe continue. Un mécanisme d'horlogerie, renfermé dans la boîte M, fait tourner le tambour qui avance en même temps dans le sens de son axe, afin que les traits, décrivant une hélice, ne puissent se superposer. On pourrait aussi faire marquer les signaux sur de longues bandes disposées en rouleaux comme pour l'appareil Morse.

En faisant varier le nombre et l'écartement des petits traits perpendiculaires à la ligne principale, on peut former un alphabet assez simple ; rien n'empêcherait, du reste, d'appliquer l'alphabet Morse ordinaire, en convenant de ne considérer que les traits marqués sur la ligne que parcourt le crayon quand l'électro-aimant est attiré par la palette.

255. **Appareil de M. Dujardin.** — Les signaux sont marqués par une plume imbibée d'encre.

Le papier est placé, comme pour l'appareil précédent, sur un tambour animé d'un double mouvement de rotation et de translation.

La figure 120 montre une coupe AB de ce tambour. La plume *mn*, garnie d'une petite mèche de coton, est fixée à l'extrémité

de la tige *nq* mobile autour de l'ave *b;* elle plonge dans un vase MN rempli d'encre ordinaire. La tige *nq* porte un petit bras *ba*,

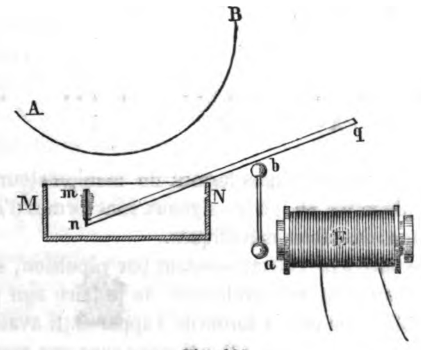


Fig. 120.

traversé en *a* par un petit cylindre d'acier aimanté qui remplace la palette de l'électro-aimant. Les pôles de cet aimant sont placés de telle sorte qu'il est repoussé par l'électro-aimant, quand le courant traverse le fil, et retombe par son propre poids dès que le courant est interrompu. La plume en venant toucher le papier y marque un point noir.

On ne peut obtenir, avec cet appareil, que de simples points, car, lorsque la plume reste un instant hors de la boîte MN, elle ne conserve pas assez d'encre pour laisser une trace sur le papier.

Voici l'alphabet adopté par M. Dujardin :

	1	2	3	4	5	6
1	E	A	I	M	B	1
2	O	U	N	C	F	2
3	D	R	L	Q	G	3
4	T	P	V	H	K	4
5	S	W	J	Y	Z	5
6	X	6	7	8	9	0

Chaque signal se compose de deux groupes de 1 à 6 points. Les

chiffres inscrits dans la première colonne verticale de gauche indiquent pour chaque lettre le nombre de points qui composent le premier groupe, et la première ligne horizontale le nombre de points du second groupe.

Ainsi, Paris s'écrira :

•••• ••	• ••	••• ••	• •••	••••• •
P	A	R	I	S

On peut adopter différentes formes de manipulateurs et, entre autres, celle de la fig. 86, où les signaux sont formés d'avance sur un tableau avec des lames métalliques.

Au lieu de faire agir l'électro-aimant par répulsion, sur son armature, il serait peut-être préférable de le faire agir par attraction, en modifiant un peu la forme de l'appareil. Il avait, du reste, été destiné dans le principe à fonctionner avec une machine électro-magnétique avec laquelle on obtient successivemeut, pour chaque mouvement, deux courants d'une très-courte durée, de sens opposés. Le premier éloignait l'armature de l'électro-aimant et le second le ramenait à sa position primitive.

256. **Appareils autographiques.** — L'écriture ordinaire elle-même peut être reproduite à distance.

Supposons deux rouleaux métalliques, exactement pareils, placés aux deux extrémités d'une ligne, animés tous les deux d'un mouvement de rotation rapide autour de leur axe, et d'un mouvevement de translation très-lent dans le sens de cet axe.

Sur chacun de ces rouleaux s'appuie un stylet fixe, qui, pendant la rotation du rouleau, décrit une série de spirales assez voisines pour que tous les points soient touchés.

Si les deux rouleaux ont le même mouvement, les deux stylets seront, à un instant quelconque, sur des points identiquement placés.

Au poste qui doit transmettre, on écrira la dépêche avec une substance isolante, soit sur le rouleau lui-même, soit sur une feuille métallique, recouvrant le rouleau, qu'on fera communiquer avec le pôle de la pile. Le stylet, en cuivre ou en fer, sera relié

au fil de la ligne; le courant passera donc chaque fois que le stylet appuiera sur le métal, tandis qu'il sera interrompu quand il passera sur l'écriture.

A l'autre poste, le rouleau sera recouvert d'un papier électro-chimique (préparé au cyanure de potassium), et le stylet sera une pointe de fer qui laissera une trace bleue chaque fois que le circuit de la pile sera fermé.

On aura, à la fin de l'opération, la dépêche transcrite sur le papier préparé; le fond sera bleu et les lettres seront marquées en blanc.

Si l'on voulait que les lettres fussent marquées en bleu sur un fond blanc, il faudrait, au premier poste, recouvrir la feuille métallique d'une couche isolante et écrire la dépêche en enlevant cette couche avec une pointe d'acier; le circuit ne serait alors formé qu'au moment où le stylet passerait sur l'écriture.

APPAREILS IMPRIMEURS.

257. — On a cherché, dès le début de la télégraphie, à obtenir les dépêches imprimées directement en caractères ordinaires, et plusieurs appareils ont été construits dans ce but; ils sont malheureusement trop compliqués et trop délicats pour qu'on puisse songer à les adopter dans un service régulier, et de plus la vitesse de transmission est notablement diminuée.

Cette complication est une conséquence du double mouvement qu'on doit faire produire à distance.

La partie principale de tous les appareils imprimeurs est une roue désignée sous le nom de roue des types, qui porte en relief, sur son pourtour, les caractères de l'alphabet. En faisant tourner cette roue comme l'aiguille des appareils à cadran par une série de passages de courant, on peut amener l'une quelconque des lettres au sommet. Il faut alors qu'un petit marteau vienne presser le papier contre le caractère en relief pour produire l'impression.

Si l'on voulait consacrer à un seul appareil deux fils d'une ligne,

avec l'un d'eux, on pourrait faire tourner la roue des types, et une fois la lettre à transmettre arrivée au sommet, on enverrait dans le second fil un courant qui, circulant autour d'un autre électro-aimant, dégagerait le marteau et le laisserait retomber sur le papier.

Pour les appareils écrivants, le papier se déroule d'un mouvement uniforme et les signaux sont écrits à des distances variables suivant le plus ou moins de régularité de la transmission, ce qui offre peu d'inconvénients; mais pour les appareils imprimeurs, tout l'avantage serait perdu si les lettres étaient disséminées sur le papier; on doit donc disposer l'instrument de façon qu'à chaque mouvement du marteau, la bande avance d'une quantité fixe égale à l'espace qui doit exister entre deux lettres consécutives.

La roue des types porte, outre les lettres de l'alphabet et les signes de ponctuation, un espace vide représenté, par exemple, par une croix sur le manipulateur; pour séparer les mots, on transmet ce signal; le papier avance, mais il n'emporte aucune marque.

On s'exagère peut-être l'utilité pratique des appareils imprimeurs. Il serait sans doute avantageux d'obtenir les dépêches écrites directement et de pouvoir les livrer immédiatement aux destinataires. On gagnerait ainsi le temps nécessaire à la transcription et l'on éviterait les chances d'erreur qui peuvent en résulter; mais il arrive rarement qu'une dépêche soit transmise d'un seul jet, soit que l'employé qui manipule se trompe et recommence certains mots, soit que le récepteur ne suive pas tous les mouvements du manipulateur.

Or, du moment que l'on doit faire la copie des dépêches transmises, il n'y a plus qu'un faible intérêt à recevoir des lettres ordinaires au lieu de signaux dont la lecture se fait avec la même facilité après quelques mois d'exercice.

258. — La figure 121 montre un appareil imprimant réduit à sa plus simple expression.

E est un premier électro-aimant dont la palette *adc*, mobile autour du point *d*, fait tourner la roue dentée V et la roue des types R fixée au même axe.

Les caractères de la roue R frottent sur le petit cylindre *r*, rempli de plombagine ou d'encre d'imprimerie, et s'humectent constamment.

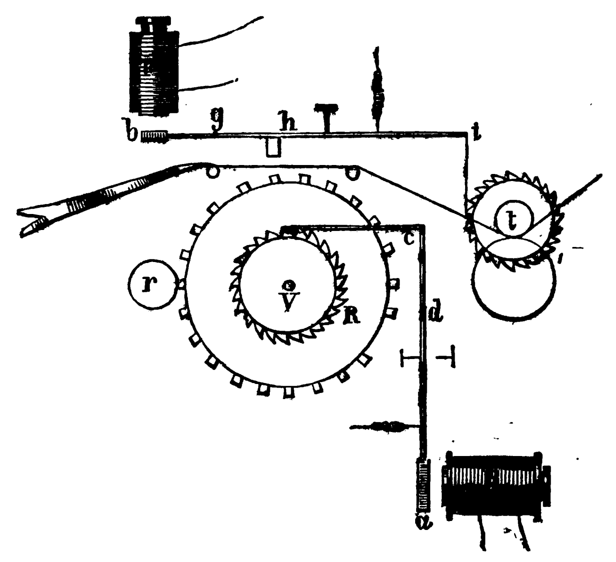


Fig. 121.

Un second électro-aimant F est destiné à produire l'impression ; il attire, quand il est aimanté, la palette *b* dont la tige *bghi*, mobile autour du point *g*, porte en *h* un petit marteau placé juste au-dessus de la roue des types.

Le papier passe au-dessous du marteau, il est tendu horizontalement sur deux petits galets et passe entre deux rouleaux dont l'un *t*, porte une roue dentée.

A l'extrémité de la tige *i* est un petit ressort terminé par une pointe : à chaque attraction de la palette *b*, cette pointe s'engage sur une dent suivante de la roue *t*; quand le courant cesse de passer, l'impression est terminée, et le ressort de rappel soulevant

la tige *ghi*, la roue *t* tourne et fait avancer le papier d'une longueur constante.

Un appareil, construit avec cette simplicité, ne donnerait sans doute que de mauvais résultats, car on ne pourrait développer que très-difficilement dans les deux électro-aimants E et F une force magnétique suffisante pour faire tourner la roue des types et faire manœuvrer le marteau.

Il est préférable de faire tourner la roue V par l'action directe d'un mécanisme d'horlogerie, la palette *ad* agissant seulement par détente pour laisser passer une dent à chaque passage de courant.

Quant au marteau, on peut l'engager dans une petite coulisse verticale et le faire mouvoir de haut en bas au moyen d'un excentrique mis en mouvement par un second mécanisme d'horlogerie; l'armature de l'électro-aimant F arrêtera le jeu de cet excentrique qui deviendra libre au moment où l'impression devra se faire.

Le problème est donc ramené à faire marcher à distance deux électro-aimants par l'intermédiaire d'un seul fil conducteur.

La solution qui se présente la première à l'esprit consiste à remplacer les palettes *a* et *b* (*fig.* 121) par deux armatures aimantées. Le courant venant de la ligne traverse successivement les bobines des deux électro-aimants; tant qu'il marche dans un sens déterminé, l'électro-aimant E attire son armature et fait tourner la roue des types; quand on change le sens du courant, la palette *b* est à son tour attirée et une lettre s'imprime.

La transmission peut se faire au moyen d'un manipulateur ordinaire à cadran ou à clavier, et d'un inverseur semblable, à celui de la figure 67.

Il est même facile d'éviter cette double manœuvre en modifiant un peu le manipulateur à clavier, qui peut être disposé de manière à changer le sens du courant quand une des lettres vient d'être transmise.

259. **Appareil de M. Brett.** — Voici en quelques mots son principe.

La roue des types est mise en mouvement par un électro-aimant, comme pour les appareils précédents; elle porte des chevilles, en

nombre égal aux caractères, implantés latéralement près de la circonférence. Une tige articulée, mobile autour d'un axe fixe, et dont l'extrémité recourbée est terminée par une sorte de couteau, repose sur ces chevilles.

Quand la roue tourne, chacune de ces chevilles soulève à son tour le couteau qui retombe sur les suivantes. Si le mouvement est rapide, il n'a pas le temps de s'enfoncer entre les chevilles et ne produit qu'un petit mouvement de va-et-vient.

Quand, au contraire, la roue s'arrête, le couteau pénètre dans le vide qui sépare les chevilles et produit la détente du mécanisme à impression. Il suffit, par exemple, de supposer qu'il ferme, en s'enfonçant ainsi, le circuit d'une pile locale qui aimante un second électro-aimant analogue à F (*fig.* 121).

Un petit appareil hydraulique, nommé gouverneur, permet à la tige qui porte le couteau de s'élever très-rapidement quand elle est soulevée par les chevilles, et rend son mouvement de descente assez lent, condition essentielle pour que le couteau ne puisse tomber entre les chevilles quand il n'y a pas arrêt.

Quand on veut transmettre une lettre, on fait, à l'aide du manipulateur, passer le courant rapidement le nombre de fois qu'il convient pour amener le caractère correspondant de la roue des types en face du papier, et l'on s'arrête un instant; le couteau s'enfonce alors entre les chevilles et dégage le marteau qui vient produire l'impression.

M. Brett a introduit une modification importante, applicable, du reste, à tous les appareils du même genre.

Après chaque temps d'arrêt, la roue des types revient au point de départ, de sorte que l'inexactitude d'un signal n'entraîne pas celle de tous les suivants.

On y arrive en rendant indépendantes la roue des types R et la roue dentée V (*fig.* 121); la première porte une petite poulie dans laquelle passe une corde tirée par un poids qui tend à la ramener constamment à la position de repos. La roue V, en tournant, entraîne la roue R au moyen d'un rochet, dont le doigt se soulève quand l'impression a eu lieu; la roue R, devenue libre, est ramenée par le petit poids à une position fixe.

Cette disposition est inutile pour les appareils à cadran, car l'employé, étant forcé d'avoir sans cesse les yeux sur l'aiguille, reconnaît quand un signal est fautif et peut arrêter son correspondant; elle rendrait la transmission moins rapide.

260. Appareil de M. Theiler. — Chaque signal exige deux émissions de courant; la première met en mouvement la roue des types, la seconde produit l'impression.

Deux mouvements d'horlogerie identiques se trouvent, l'un dans le récepteur et l'autre dans le manipulateur; ils font tourner deux roues et sont réglés de façon que les deux roues tournent du même angle dans le même temps. Ce synchronisme dans les deux mouvements s'obtient assez facilement, parce qu'il ne doit avoir lieu que pendant un temps très-court, les deux roues étant à chaque tour arrêtées à un point fixe.

Le manipulateur est analogue au manipulateur à clavier (*fig.* 117); les lettres sont marquées sur des touches, et le mouvement d'horlogerie fait tourner un arbre semblable à AA′ muni de pointes plantées en hélice.

La roue R est supprimée et la roue V ne porte qu'une seule dent qui est retenue par un ressort quand toutes les touches sont levées.

Si on pose le doigt sur une touche, on abaisse la barre B′B qui lève le ressort; la roue se met à tourner jusqu'à ce que la pointe correspondante à la lettre vienne buter contre la touche (en E, *fig.* 117) comme pour le manipulateur de M. Froment.

Par une disposition ingénieuse le courant passe sur la ligne au moment où la roue V se met en mouvement, mais il est aussitôt interrompu; il passe de nouveau quand la rotation est arrêtée par le choc de la tige contre la touche, et persiste alors pendant tout le temps que la touche reste abaissée.

Quand on lève le doigt le second courant s'interrompt, et la roue V continue à tourner jusqu'à ce qu'elle ait achevé un tour entier.

Le récepteur contient deux électro-aimants. La roue des types, mise en mouvement par le mécanisme d'horlogerie, est arrêtée, comme la roue V du manipulateur, à un point fixe; le premier courant, venant de la ligne, traverse la bobine de l'un des électro-ai-

mants et, en attirant la palette, dégage la roue qui se met en mouvement et enlève, en tournant, la communication entre la ligne et l'électro-aimant désembrayeur pour l'établir avec l'électro aimant imprimeur. A cet effet, son axe porte deux lames métalliques isolées, dont l'une, très-étroite, communique avec le premier électro-aimant, et l'autre, qui comprend le reste de la circonférence, communique avec l'électro-aimant imprimeur. Un ressort, relié au fil de la ligne, appuie sur cet axe; quand la roue est à l'état de repos, il touche la petite lame, et, dès qu'elle a un peu tourné, il presse l'autre pendant toute la durée de la révolution.

Le second courant, en circulant autour de l'électro-aimant imprimeur, arrête le mouvement de la roue des types et imprime une lettre. Comme les mouvements des roues du manipulateur et du récepteur sont synchroniques, la roue des types se trouve arrêtée juste au moment où la lettre, marquée sur la touche abaissée, se trouve au-dessous du marteau.

Quand celui qui manipule a entendu le bruit causé par le choc de la tige plantée sur l'arbre contre la touche, il sait que l'impression a eu lieu et lève le doigt; les roues du manipulateur et du récepteur continuent à tourner jusqu'à ce qu'elles soient de nouveau arrêtées au point fixe.

Bien que cet appareil imprimeur paraisse, au premier abord, un peu compliqué, c'est peut-être celui qui, dans l'application, donnerait les meilleurs résultats.

261. Appareil imprimeur de M. Bréguet. — Lorsqu'un courant traverse un électro-aimant, le magnétisme ne se développe pas instantanément, il n'atteint son maximum qu'au bout d'un temps appréciable qu'on peut évaluer, pour les électro-aimants employés ordinairement en télégraphie, à 1/10 de seconde.

Il en résulte que la palette fait au moment du passage du courant un petit mouvement qui s'arrête si l'interruption a lieu immédiatement, tandis que si le courant persiste pendant un certain temps, le magnétisme acquiert toute son intensité, et elle est fortement attirée. La petite oscillation qu'exécute la palette, quand la durée du courant est très-courte, est pourtant suffisante pour dégager une roue d'échappement, puisque avec les appareils

à cadran on peut faire exécuter à l'aiguille plusieurs tours par seconde.

C'est sur ce principe qu'est fondé l'appareil imprimeur de M. Bréguet.

E (*fig.* 122) est l'électro-aimant, *ab*, la palette mobile autour de deux vis projetées en *a*.

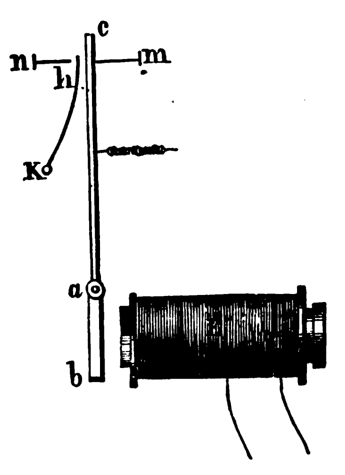


Fig. 122.

La pointe, contre laquelle vient buter la tige quand la palette est attirée, est remplacée par un ressort assez fort *hk* fixé en *k*.

La palette fait d'ailleurs tourner une aiguille devant un cadran et une roue portant en relief les mêmes lettres.

Quand les interruptions de courant sont assez rapides, la tige *ac* de la palette vient presser légèrement le ressort *kh*: la roue d'échappement tourne ainsi que l'aiguille et la roue des types.

Au moment où l'aiguille est arrivée en face de la lettre qui doit être transmise, le courant passe pendant un certain temps, la tige de la palette appuie alors fortement sur le ressort et lui fait toucher une vis *n* placée à une petite distance.

La vis *n* et le ressort *hk* sont en communication avec les

deux pôles d'une pile locale, par l'intermédiaire d'un second électro-aimant qui met en mouvement un petit marteau, au-dessus de la roue des types et produit l'impression de la lettre.

Le temps d'arrêt peut être très-court puisqu'il suffit de 1/10e de seconde pour que le magnétisme de l'électro-aimant atteigne son maximum.

Ce système peut facilement s'adapter aux appareils à cadran ordinaires auxquels il suffit d'ajouter les pièces nécessaires pour l'impression en y apportant toutefois une légère modification, car il faut que chaque lettre soit produite par une émission de courant. Le cadran doit avoir 52 divisions au lieu de 26 et les lettres sont marquées seulement en face des divisions impaires.

Quant à la manipulation, elle n'est pas changée; en tournant la manivelle avec une vitesse moyenne, l'aiguille du récepteur et la roue des types tournent, mais le circuit de la pile locale ne se ferme pas ; c'est seulement quand on s'arrête sur une lettre le temps nécessaire pour faire entrer la manivelle dans le cran correspondant que l'impression a lieu.

Cette addition serait utile si l'on voulait conserver la trace des transmissions échangées entre deux postes. La lecture des signaux aurait lieu comme à l'ordinaire, et l'on retrouverait sur la bande de papier toutes les lettres transmises, parmi lesquelles il pourrait s'en trouver quelques-unes produites par des arrêts irréguliers de la manivelle.

M. Siemens avait il y a plusieurs années construit un télégraphe imprimeur fondé sur un principe analogue, il faisait traverser par le courant deux électro-aimants dont l'un, l'imprimeur, étant d'une grande dimension, s'aimantait plus lentement que l'autre ; il n'attirait l'armature que lorsque le courant circulait pendant un temps assez long.

TÉLÉGRAPHES ACOUSTIQUES.

262. — Les sonneries ordinaires sont de véritables télégraphes acoustiques, mais elles ne peuvent donner qu'un simple signal d'a-

vertissement ; avec les sonneries à trembleur (n° 146), on peut obtenir des signaux plus variés qui sont assez faciles à distinguer à l'oreille et auxquels on peut assigner diverses significations.

On aurait un télégraphe acoustique encore plus simple en remplaçant, dans la figure 120, la plume par un petit marteau et le rouleau AB par un timbre. L'alphabet indiqué par M. Dujardin pourrait même être conservé ; chaque lettre serait formée par deux séries de coups rapprochés remplaçant les points que la plume marque sur la bande de papier. Le *p*, par exemple, serait produit par deux séries, l'une de quatre coups et l'autre de deux.

On ne peut songer à employer ce genre de télégraphe pour la transmission des dépêches, car l'attention devrait être trop soutenue pour que, dans un travail continu, il n'en résultât pas une grande fatigue pour les employés et des chances d'erreurs.

263. **Transmission de la parole.** — On ne s'est pas borné à vouloir imprimer et autographier les dépêches, on a essayé de transmettre la parole elle-même par la voie télégraphique.

Voici la combinaison proposée pour réaliser cette idée singulière :

Supposons qu'à l'extrémité d'une ligne on fasse vibrer une lame en face d'une pointe métallique, la lame étant en communication avec la pile et la pointe avec la ligne ; à chaque mouvement de la lame, le circuit sera fermé, et, si le courant circule à l'autre extrémité autour d'un électro-aimant, il fera osciller son armature, Chacune des vibrations de la palette, correspondant à une vibration de la lame, elles produiront la même note de l'échelle musicale [1].

On peut faire vibrer la lame métallique en produisant un son

1. Lorsqu'un corps élastique oscille autour de sa position d'équilibre, ses vibrations se transmettent par l'air aux corps environnants et produisent un son si elles sont suffisamment rapides.

On distingue dans le son trois propriétés : 1° l'intensité ou la force qui varie avec l'amplitude des vibrations ; 2° la hauteur qui donne lieu aux différentes notes de l'échelle musicale et qui dépend du nombre de vibrations exécutées dans un temps donné ; 3° le timbre.

Le timbre est une qualité du son dont l'origine est peu connue ; il change avec la nature et la forme des corps vibrants ; ainsi deux instruments de musique

à une très-petite distance, soit à l'aide d'un instrument de musique, soit à l'aide de la voix. Le problème de la transmission de la parole est toutefois loin d'être résolu ; les syllabes, en effet, sont pro duites par une qualité spéciale du son qu'on nomme le timbre, et elles répondent souvent à une même note musicale ; or cette qualité du son ne se transmet pas par le fil conducteur. On obtient seulement à l'extrémité de la ligne un certain nombre de vibrations dont la durée peut être variable et donner des sons différents ; mais le timbre est toujours le même et dépend de la nature de la plaque, de ses dimensions, des corps qui l'entourent, etc.

EMPLOI DES MACHINES MAGNÉTO-ÉLECTRIQUES.

264. — On peut obtenir des courants d'induction intenses en faisant mouvoir un aimant en face d'un barreau de fer doux entouré d'un fil conducteur (n° 48), aussi a-t-on depuis longtemps songé à remplacer, dans les bureaux télégraphiques, les piles par des machines magnéto-électriques qui ne donnent lieu à aucune dépense d'entretien et sont toujours en état de fonctionner sans aucune préparation.

On donne différentes formes aux machines magnéto-électriques : tantôt l'aimant est mobile autour d'un axe en face d'un électro-aimant ; tantôt l'aimant est fixe et l'électro-aimant, muni de deux bobines de fil recouvert, est mobile. Une troisième disposition préférable, parce que la masse qu'on doit mettre en mouvement est moindre, consiste à placer les bobines autour de l'aimant qui reste

peuvent donner la même note bien que les deux sons soient essentiellement différents.

La voix est produite par la vibration de l'air qui, en sortant des poumons, traverse un organe spécial nommé glotte.

Les sons qui sortent du gosier acquièrent, suivant la position de la langue et des lèvres, des timbres différents qui forment des syllabes, de sorte que toutes les syllabes peuvent être prononcées sur la même note et correspondre au même nombre de vibrations.

fixe et à faire mouvoir en face un barreau de fer doux; chaque fois qu'il passe devant les pôles, il produit dans l'aimant une perturbation qui donne lieu à une diminution de magnétisme et développe des courants d'induction.

Lorsque l'aimant est en fer à cheval, comme dans la figure 32, à chaque révolution, le barreau passe deux fois devant les pôles de l'aimant; il se produit quatre courants, deux ont lieu pendant le rapprochement du fer doux et les deux autres de sens contraire aux premiers pendant l'éloignement.

Quand les courants d'induction traversent de longs conducteurs extérieurs, les bobines qui entourent les deux branches de l'aimant doivent avoir de grandes dimensions; leur résistance doit être comparable à celle de la ligne.

On augmente la force des courants induits en augmentant les dimensions de l'aimant, ce qui peut facilement se faire en ajoutant des aimants supplémentaires dans l'intérieur des bobines.

Pour appliquer les machiues électro-magnétiques aux appareils à cadran, il suffit que la manivelle du manipulateur, au lieu de faire osciller un levier, imprime un mouvement de rotation au barreau de fer doux et qu'au moment où elle passe d'une lettre à la suivante, il y ait un rapprochement ou un éloignement entre l'armature et l'aimant.

Quand la manivelle est en face d'une lettre, le barreau mobile se trouve placé suivant la ligne des pôles de l'aimant, ou dans une position perpendiculaire; s'il y a 26 lettres la manivelle fait tourner une roue dentée ayant 26 dents, et par un engrenage communique le mouvement à l'axe du barreau muni de quatre dents seulement, de sorte que, pour chaque angle décrit par la manivelle et égal à $\frac{1}{26}$ de la circonférence, l'axe du barreau tourne de 45°.

Quant au récepteur, il se trouve sur le parcours du fil; une oscillation complète de la palette fait avancer l'aiguille d'une division. Le circuit est toujours fermé et comprend la ligne, les bobines des deux récepteurs et les deux bobines électro-magnétiques.

M. Henneley a construit un télégraphe électro-magnétique à

aiguilles : le manipulateur est une pédale qui, lorsqu'on l'abaisse, éloigne d'un aimant fixe un électro-aimant dont la bobine est en communication avec la ligne ; un courant d'induction se rend alors au poste voisin et fait dévier une aiguille aimantée. Quand on relève le doigt la pédale revient à sa position et le nouveau courant tend à ramener l'aiguille à l'état de repos ; un buttoir d'arrêt l'empêche d'osciller dans l'autre sens, car on ne peut évidemment utiliser qu'une seule des déviations pour produire des signaux.

Par une disposition particulière, la bobine d'induction ne se trouve dans le circuit que lorsqu'on la met en mouvement avec la pédale.

Nous avons déjà cité le télégraphe écrivant de M. Dujardin : le manipulateur était dans le principe une roue qui faisait tourner une armature en face d'un aimant entouré de deux bobines. Suivant l'angle de rotation exécuté par la roue, le courant passait une fois, deux fois, etc., etc.

265. — Malgré les avantages que paraissent présenter au premier abord les machines magnéto-électriques, on a renoncé à les employer en télégraphie. La manipulation est assez pénible à cause de la masse considérable qu'il faut faire mouvoir, ce qui est un obstacle à la rapidité de la transmission ; l'intensité du courant varie avec la vitesse qu'on imprime aux parties mobiles ; les courants d'induction ne peuvent d'ailleurs servir quand on doit en faire varier la durée, comme pour l'appareil Morse.

Enfin on a souvent besoin dans les postes de courants continus, qu'on ne peut obtenir avec les machines magnéto-électriques, pour faire les expériences sur l'état des lignes et pour les recherches de dérangements.

Les piles sont au contraire d'un usage commode : le plus petit mouvement suffit pour fermer le circuit et envoyer le courant. Les piles Daniell dont on se sert ordinairement sont d'ailleurs d'une grande constance, d'un entretien facile et peu dispendieux. On peut évaluer à environ 60 centimes la dépense annuelle occasionnée par chaque élément Daniell. L'entretien d'une pile de 60 éléments revient donc seulement à 36 francs par an.

Le pôle négatif de la pile est ordinairement relié au fil de

terre et le pôle positif communique avec le manipulateur : le courant qu'on envoie sur la ligne a toujours le même sens.

On pourrait, en modifiant convenablement les différents manipulateurs, changer le sens du courant à chaque émission pour détruire le magnétisme qu'il développe dans les électro-aimants ; mais on y a renoncé pour éviter la complication dans les appareils. Ce magnétisme est d'ailleurs très-faible, quand les électro-aimants sont de bonne qualité ; il n'a pas d'influence sur la transmission, car une fois développé il reste constant, et il suffit de tendre convenablement le ressort de rappel pour vaincre l'adhérence qui en résulte.

On réserve exclusivement cette inversion du sens des courants pour les appareils à armatures aimantées dont l'emploi est du reste assez rare.

RÉGLAGE DES RESSORTS DE RAPPEL.

266. — La partie fondamentale de tous les appareils télégraphiques est une palette dont le mouvement de va et vient est employé, soit à faire tourner une roue dentée et une aiguille indicatrice, soit à fermer le circuit d'une pile secondaire, soit à faire marcher un stylet, etc.

Cette palette, attirée par un électro-aimant quand le courant vient de la ligne, est ramenée à la position de repos, dès que le courant est interrompu, par un ressort, nommé ressort de rappel ou ressort antagoniste, dont la tension devant être très-peu supérieure à la force magnétiqne qui persiste dans l'électro-aimant après le passage du courant doit changer avec l'intensité. (*Voir* le n° 69.)

Ces ressorts sont tantôt des ressorts à boudin en cuivre qu'on tend en les allongeant, tantôt des lames d'acier dont une extrémité est fixe et dont l'autre appuie sur la palette. On augmente ou on diminue la tension, dans ce dernier cas, en avançant ou en reculant une vis qui fait varier la longueur du ressort.

L'intensité du courant varie souvent, même à des intervalles de temps assez courts, par suite des influences atmosphériques et du changement de pile quand on reçoit alternativement de plusieurs postes différents.

Pour régler la tension du ressort de rappel, on prie le correspondant de produire avec son manipulateur des interruptions rapides et régulières de courant et l'on tend ou l'on détend le ressort jusqu'au moment où la palette oscille avec la régularité désirable.

Il y aurait un grand avantage à éviter ce réglage qui présente quelquefois des difficultés et cause toujours un retard dans la transmission. Plusieurs tentatives ont été faites dans ce but ; mais on est loin d'avoir réussi d'une manière complète.

267. **Armatures aimantées.** — Le premier moyen a été proposé par M. Glaesner. La palette en fer est remplacée par un aimant mobile entre deux électro-aimants dont les bobines sont traversées par le courant ; ces électro-aimants sont placés de façon que les pôles contraires soient toujours en présence, l'un d'eux attire l'aimant et l'autre le repousse.

Le courant change de sens à chaque émission ; il renverse le sens de l'aimantation des deux électro-aimants et fait aller la palette alternativement dans les deux sens.

Quelle que soit l'intensité du courant, le mouvement a toujours lieu, si toutefois elle est suffisante pour produire la répulsion de la palette aimantée.

Ce procédé a l'inconvénient d'introduire, dans les appareils, des armatures aimantées ; ce qu'on doit éviter dans la pratique, car le contact avec l'électro-aimant, qui produit la répulsion, leur fait perdre promptement leur magnétisme.

On peut rendre ces aimants plus stables en faisant osciller un seul pôle entre les deux électro-aimants, le mouvement ayant lieu autour de l'autre pôle ; dans ce cas, le pôle fixe conservant son magnétisme maintient la séparation des deux fluides. Malgré cette précaution, les orages, les courants atmosphériques produisent encore la désaimantation subite et arrêtent souvent la marche des appareils.

268. **Ressorts progressifs.** — M. Callaude emploie pour ressort de rappel une lame d'acier dont la longueur varie d'elle-même suivant la force du courant.

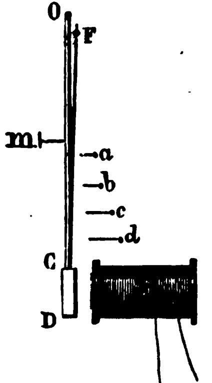


Fig. 123.

Cette lame CF (*fig.* 123), fixée invariablement en F, tend à repousser la palette DCO contre le buttoir d'arrêt *m*.

En face de cette lame CF sont des vis *a*, *b*, *c*, *d*, dont les extrémités forment une ligne courbe.

Quand le courant traverse l'électro-aimant E, la palette est attirée et la lame vient s'appuyer sur ces vis; quand l'intensité est faible, le ressort, au moment où il touche la première vis, oppose à la palette une force égale à l'attraction de l'électro-aimant et arrête son mouvement.

Si l'intensité augmente, la force de répulsion du ressort, quand il touche la vis *a*, n'est pas suffisante, et la palette étant encore attirée, la lame vient toucher la vis *b*, la longueur du ressort diminue et il agit avec une force plus grande pour repousser la tige quand le courant cesse de passer.

Enfin si l'intensité augmente encore, la lame vient s'appliquer contre la vis *c* ou même la vis *d*.

En résumé, la longueur de la lame qui agit comme ressort et, par suite, la pression qu'elle exerce sur la palette dépendent de l'intensité du courant, et, si l'on a d'avance réglé l'écartement des vis *a*, *b*, *c* et *d* de façon que l'appareil puisse marcher avec diverses intensités du courant, on n'aura plus à y toucher pendant la transmission.

On peut remplacer les vis *a*, *b*, *c* et *d* par une courbe calculée convenablement.

Les appareils de M. Callande exigent un courant assez intense, et l'amplitude de l'oscillation de la palette est variable, ce qui peut être un obstacle dans beaucoup de cas.

269. **Régleur de M. Mouilleron.** — Le ressort de rappel se

tend lui-même pendant la transmission jusqu'au moment où la tension est celle qui convient à l'intensité du courant.

L'appareil est divisé en deux parties indépendantes, le récepteur ordinaire qui fait marcher une aiguille ou un style, et le régleur.

Le régleur seulement est représenté dans la figure 124. Il com-

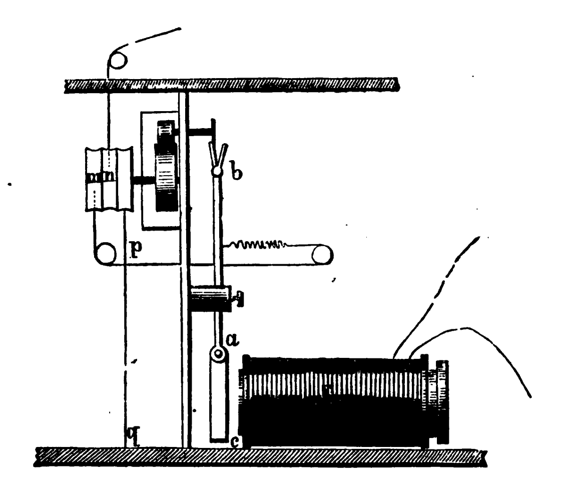


Fig. 124.

prend un électro-aimant E dont la palette fait tourner, par l'intermédiaire d'un mécanisme d'horlogerie et d'une roue d'échappement, deux petites poulies *m* et *n*.

Le ressort de rappel du récepteur et celui de la palette *cb* du régleur sont terminés par de longs fils de soie qui viennent s'enrouler, le premier sur la poulie *n*, le second sur la poulie *m*.

Le courant qui vient de la ligne traverse successivement les deux bobines des électro-aimants du régleur et de l'appareil à signaux.

Supposons les deux ressorts détendus; quand le correspondant transmet, les deux électro-aimants s'aimantent, et, le régleur fai-

sant tourner les poulies, les deux fils s'enroulent et tendent les ressorts de rappel.

Le ressort du régleur est plus fort que l'autre, il se tend rapidement jusqu'à ce que sa tension soit telle que l'électro-aimant ne puisse plus attirer la palette ; le mouvement des deux poulies s'arrête alors et les ressorts conservent leur tension malgré le passage du courant dans les bobines. Le ressort du récepteur doit être alors tendu suivant la force qui convient à l'intensité du courant.

Si l'intensité augmente, l'électro-aimant du régleur attire de nouveau la palette et fait encore tourner les deux poulies, les ressorts se tendent un peu plus jusqu'à ce que le régleur s'arrête de nouveau.

Si au contraire l'intensité diminue, le régleur reste immobile, et, les deux ressorts ne se détendant pas, on est forcé de dérouler complétement les deux fils en faisant tourner les poulies, au moyen d'une petite ficelle *pq*. Cette opération doit du reste se faire au commencement de chaque transmission.

C'est par une série d'expériences préalables qu'on dispose les poulies et les ressorts de façon que l'arrêt du régleur corresponde à une tension convenable du ressort du récepteur.

TRANSMISSION SIMULTANÉE DE DEUX DÉPÊCHES EN SENS CONTRAIRE PAR LE MÊME FIL.

270. — Il a beaucoup été question, dans le courant de l'année 1855, d'un moyen particulier d'obtenir la transmission simultanée de deux dépêches en sens contraire par le même fil conducteur, et plusieurs appareils construits dans ce but ont figuré à l'Exposition universelle de Paris.

On peut arriver à ce résultat avec un appareil quelconque en apportant une légère modification dans sa construction.

Il suffit que les bobines de l'électro-aimant soient formées de deux fils exactement pareils enroulés en sens contraire. Le courant qui part de la pile de l'un des postes, traverse en se bifur-

quant, ces deux fils; après avoir passé dans l'un d'eux, il se rend à la terre, et, après avoir passé dans l'autre, il va à l'autre station; si l'intensité du courant suivant ces deux directions est la même, l'électro-aimant reste à l'état naturel, car l'effet de l'un des courants détruit celui de l'autre. Le fluide qui vient de l'autre station ne traverse que l'une des deux bobines et aimante l'électro-aimant.

P et P′ (*fig.* 125) sont les piles de deux postes correspondants, A et A′; R et R′, les récepteurs figurés par une section de leur électro-aimant. Le fil des bobines est représenté par un seul tour; il comprend pour chaque électro-aimant deux fils distincts qui se bifurquent en *l* et *l′* et sont enroulés en sens contraire; les uns suivant *lfhi* et *l′f′h′i′* sont marqués en traits pleins, les autres suivant *lgem* et *l′g′e′m′* en traits ponctués. Les deux premiers sont réunis par le fil de la ligne *ii′*, les deux autres communiquent avec la terre par l'intermédiaire de deux rhéostats Q et Q′.

Les manipulateurs M et M′ établissent la communication des bobines et de la ligne alternativement avec le pôle de la pile et avec la terre.

271. — Il faut, quand l'un des postes transmet, que son récepteur reste en repos, et qu'au contraire celui du correspondant indique le passage du courant, quelle que soit la position de son manipulateur. Nous allons examiner les différents cas qui peuvent se présenter dans le courant de la transmission.

1er cas. A *transmet seul.* La tige du manipulateur M est sur *da* et celle de M′ sur *d′b′*.

Dans ce cas le récepteur R doit rester en repos et l'électro-aimant R′ doit être aimanté.

Le courant de la pile P se bifurque en *l*; une partie suit le fil *lgem*, traverse le rhéostat Q et revient à l'autre pôle par *tz*; l'autre partie suit le fil *lfhi*, la ligne jusqu'en *i′*, le fil de l'électro-aimant R′ marqué en traits pleins *h′f′l′* et se rend à la terre par la route *l′d′b′t′*T′. Le courant ne se divise pas en *l′*, et ne suit pas la route *g′e′m′*Q′T′ parce que les résistances du fil de la bobine et de celui du rhéostat sont très-grandes, tandis qu'on peut regarder comme nulle la résistance *l′d′b′t′*.

Ainsi un seul des deux fils enroulés autour de R′ est parcouru par le courant qui aimante le fer doux de l'électro-aimant.

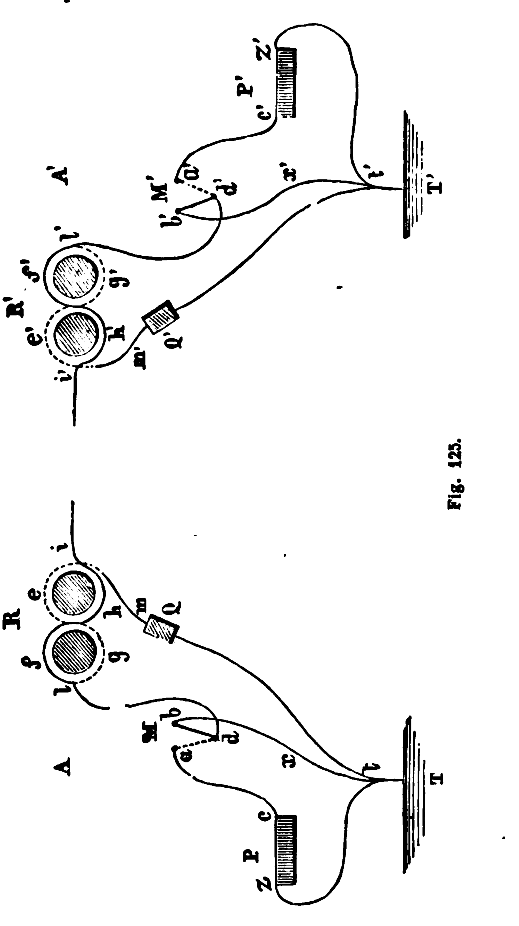


Fig. 125.

Les deux fils du récepteur R sont traversés par deux courants qui circulent en sens contraire. Comme les deux fils sont pareils,

l'effet produit sera nul si le courant a la même intensité des deux côtés, et cette condition sera remplie si les résistances des deux circuits *lgemQt* et *lfhii'h'f'l'd'b't'Tt* sont égales. C'est dans ce but qu'on place un rhéostat Q sur le parcours du fil *m*T ; il doit offrir au courant une résistance égale à celle de la ligne *ii'* et de la bobine *i'h'f'l'* [1]. Si la longueur de la ligne est de 300 kilomètres et la résistance de chacune des bobines de 200 kilomètres, la résistance du rhéostat sera de 500 kilomètres.

2e cas. *A' transmet seul.* La tige du manipulateur M est sur *da* et celle de M' sur *d'b'*. Ce cas est identique au précédent. L'électro-aimant R s'aimante et le récepteur R' reste en repos si le rhéostat Q' offre au courant une résistance égale à celle de la ligne *i'i* et de la bobine *ihfl*.

Pour donner aux deux rhéostats les résistances convenables, on envoie le courant d'une des stations A, par exemple, et l'on augmente ou l'on diminue la longueur du fil du rhéostat Q jusqu'au moment où le récepteur R n'indique aucune trace d'aimantation.

3e cas. *A et A' envoient le courant simultanément.* Les tiges des manipulateur sont sur *db* et *d'b'*. Les deux récepteurs doivent accuser le passage du courant.

Nous allons examiner l'effet produit par chacune des deux piles P et P'. Lorsque plusieurs piles sont placées dans un circuit, on obtient l'intensité en chaque point en cherchant l'intensité produite par chaque pile considérée séparément et en faisant la somme de ces intensités lorsque les courants vont dans le même sens ou leur différence lorsqu'ils vont en sens contraire.

La pile P donne lieu à deux courants dérivés à partir du point *l* : l'un suit la route *lgemQtz*, l'autre parcourt les deux bobines *lfhi* et *i'h'f'l'* et la ligne *ii'*. La pile P' donne lieu à deux courants : l'un suivant *l'g'f'm'Q't'z'* ; l'autre a le même circuit que le deuxième courant de la pile P.

Ces deux courants circulent en sens contraire dans le même

1. Nous ne parlons pas ici de la résistance de la terre et de celle des fils *l'd* et *b't* qu'on peut regarder comme nulles par rapport à celle de la ligne et des bobines.



conducteur ; si leur intensité est égale, ils s'annulent, et aucun courant ne traverse la ligne et les deux bobines *lfhi* et *l'f'h'i'*.

Ainsi les électro-aimants sont influencés seulement par les courants qui parcourent les bobines ponctuées *lgem* et *l'g'e'm'* ; ils sont donc aimantés. On peut voir en outre que le sens de l'aimantation est le même que dans les deux premiers cas de la transmission. Pour R', par exemple, lorsque A envoie seul le courant, il tourne dans le sens *h'f'g'h'* autour des deux tiges de fer doux ; il a la même direction dans le cas actuel, car il provient de la pile P' et circule dans le sens *g'c'h'f'*.

Il n'est pas, du reste, nécessaire que les courants produits par les deux piles soient égaux pour que la transmission simultanée puisse s'effectuer. On peut, en effet, analyser un peu différemment l'action des deux piles. Le courant de la pile du poste A circule autour des deux bobines de R et n'exerce aucun effet sur cet électro-aimant. Le courant de la pile P' traverse seulement une des bobines et, soit qu'il s'ajoute à celui de la pile P, soit qu'il en détruise une partie, l'effet qu'il produit sur R est évidemment le même que quand la pile P ne donne pas de courant. Il en est de même pour le récepteur R'.

Les deux courants produits par la pile P', et qui traversent la bobine *hfl*, 1° quand le manipulateur M est au repos, 2° quand il est sur contact, n'ont pas exactement la même intensité, parce que la résistance *aczt* n'est pas égale à la résistance *bt* ; pour rendre l'égalité parfaite, il faudrait placer en *x*, sur le parcours du fil *bt*, un rhéostat présentant une résistance égale à celle de la pile P. Par la même raison, un quatrième rhéostat devrait être placé en *x'* sur le parcours du fil *b't'*.

4° Quand on passe de l'un des postes de la position de réception du courant à celle de l'émission, il existe un moment très-court pendant lequel le fil de la ligne est complétement isolé. Il nous reste à examiner le cas où le poste A envoyant le courant, les trois points *a'd'b'* du manipulateur M' sont isolés.

Dans cette situation du manipulateur M', il faut que l'électro-aimant R' soit aimanté, et que la force magnétique développée

soit la même que lorsque le manipulateur est sur la position de réception.

Le courant de la pile P se divise encore en *l* en deux parties, l'une suit la direction *lgem*Q*tz*, l'autre *lfhii'h'f'l'* ; le courant étant arrêté en *d'*, puisque les trois points *l'*, *b'* et *a'* sont isolés, passe du point de bifurcation *l'* sur l'autre bobine *l'g'e'm'*, traverse le rhéostat Q' et se rend à la terre par le fil *t'*T'. Il traverse les deux bobines de R' et tourne toujours dans le même sens autour de l'électro-aimant. Le nombre de tours est deux fois plus considérable que lorsqu'il traverse une seule des bobines ; la force magnétique développée sera la même, si l'intensité du courant est réduite de moitié ou si la résistance du circuit est double.

Cette résistance à partir de *l* se compose : 1° de la bobine *fhi* ; 2° de la ligne *i'i* ; 3° de la bobine *i'h'f'l'* ; 4° de la bobine *l'g'e'm'* ; 5° du rhéostat Q' dont la résistance est égale à celle de la ligne et de la bobine *lfhi*. En résumé, elle est égale à deux fois la somme des résistances de la bobine *lfhi*, de la ligne et de la bobine *i'h'e'l'*. Elle est donc double de ce qu'elle était quand la tige du manipulateur M' faisait communiquer *d'* et *a'*.

272. — Les expériences faites sur plusieurs lignes pour obtenir cette communication simultanée ont assez bien réussi, mais on doit voir dans cette réalisation beaucoup plus la solution d'un intéressant problème de télégraphie électrique qu'un moyen d'augmenter les ressources d'une ligne.

Dans le courant d'un service ordinaire, on doit, à chaque poste, être prêt, pendant la réception d'une dépêche, à interrompre le correspondant pour lui faire répéter les mots mal compris, lui donner le collationnement à la fin de chaque transmission, etc. La ligne doit donc rester libre et ne peut servir à la transmission d'une dépêche différente.

Quelques personnes ont envisagé la question à un autre point de vue et ont pensé qu'il serait possible, en faisant passer sur le même fil des courants d'une nature différente, de parvenir à les séparer aux extrémités et d'obtenir ainsi une solution complète, parce qu'alors, non-seulement deux dépêches pourraient passer en sens contraire, mais elles pourraient être envoyées dans la même

direction. Rien ne peut faire supposer qu'on parvienne à ce résultat.

On peut également obtenir une transmission simultanée par le même fil entre deux postes très-éloignés entre lesquels sont placés des appareils de translation, pourvu que les translateurs soient établis d'après les mêmes principes.

273. **Contrôle automatique des dépêches.** — Quand un employé transmet une dépêche, il n'a ordinairement aucun moyen de s'assurer que les signaux qu'il envoie arrivent fidèlement à l'extrémité de la ligne ; en plaçant son récepteur dans le circuit, il peut reproduire sa dépêche au point de départ, mais il n'est pas certain que ses signaux sont parvenus au poste correspondant.

Si l'on pouvait disposer de deux fils conducteurs sur chaque ligne, on établirait au poste qui reçoit la translation de façon à faire retourner au point de départ, par un des deux fils, la dépêche reçue par l'autre. La théorie précédente fournit un moyen d'obtenir ce contrôle avec un seul conducteur.

Supposons qu'on emploie l'appareil Morse, que, dans la figure 125, R et R′ soient les deux relais destinés à recevoir le courant de la ligne et à fermer le circuit d'une pile locale, et que le manipulateur M′ soit remplacé par le levier à signaux du récepteur; chaque fois que A transmettra, il fera lui-même mouvoir le manipulateur M′, et le courant de A′ reviendra faire marcher le récepteur R.

Le poste qui reçoit sera donc établi comme l'indique la figure 126. R est le relais dont l'électro-aimant est entouré par deux fils semblables qui se bifurquent en *l* et sont représentés seulement par deux tours *f* et *g* ; P est la grande pile, P′ la pile locale, Q un rhéostat, *abc* le levier et H l'électro-aimant de l'appareil à signaux.

Au moment où le poste correspondant A′ transmet, le courant traverse la bobine *f*, le fil *la*, le bras de levier *am* et se rend à la terre en T par la colonne de repos V. Le levier *abc* est attiré et son extrémité vient frapper sur la colonne *de*. Le circuit de la pile de A′ est rompu en *m*V, mais il se complète par la colonne *de* et la pile P. Pendant tout le temps que A′ envoie le contact du levier *abc* et de la colonne *de* persiste, et comme dans le 3[e] cas examiné plus haut les relais des deux postes sont aimantés.

Pendant le temps que le levier *abc* emploie à exécuter son mouvement, le courant ne peut passer par le fil *la*, mais il parcourt

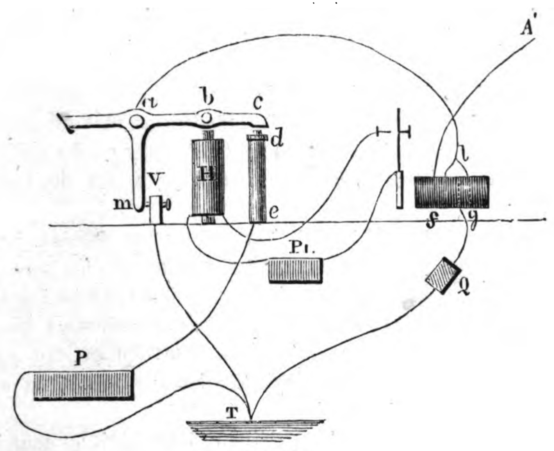


Fig. 126.

successivement les deux bobines *f* et *g* de l'électro aimant du relais qui ne cesse pas d'être aimanté.

Ce contrôle automatique peut s'effectuer, nou-seulement entre deux postes qui correspondent directement, mais encore quand il se trouve entre eux des appareils de translation convenablement installés.

Remarquons en terminant que, si, par ce moyen, on peut s'assurer que le courant est arrivé à sa destination, rien n'indique que la production du signal a été complète, que, pour le système Morse, par exemple, le stylet a laissé sur le papier une trace nette et bien visible.

La manœuvre des rhéostats, dont la résistance doit varier suivant l'état des lignes, exige une grande attention et sera toujours un obstacle à ce qu'un pareil système soit adopté dans la pratique.

APPLICATION DE LA TÉLÉGRAPHIE AUX CHEMINS DE FER.

274. — La télégraphie électrique rend de tels services aux chemins de fer, qu'on en concevrait difficilement, maintenant, l'exploitation, s'ils n'étaient accompagnés d'un télégraphe spécialement destiné aux correspondances entre les agents des Compagnies.

On a donc établi, le long de toutes les voies ferrées, des fils conducteurs qui relient les différentes stations. Ces fils sont ordinairement au nombre de deux; l'un (fil omnibus) s'arrête à presque toutes les stations, l'autre (fil direct) dessert seulement les stations principales. Dans les premières, le service est fait par le chef de gare ou l'un de ses employés, dans les autres, un agent spécial en est chargé.

On emploie, en France, l'appareil à cadran décrit au quatrième chapitre.

Aux stations secondaires, il n'arrive donc que deux fils qui correspondent aux deux directions; le poste est monté comme le montre la figure 6, planche II.

Les fils aboutissent aux commutateurs du manipulateur, à l'état de repos, ils communiquent avec deux sonneries. Quand on veut correspondre avec l'un des postes voisins, on change la position de la lame du commutateur pour faire passer le courant dans le récepteur. Sur le parcours de chaque fil se trouvent toujours un paratonnerre et une boussole.

Nous n'avons rien à ajouter à ce qui a été dit au n° 108, sur la manière dont se fait le service.

Il existe sur les lignes beaucoup de petites stations avec lesquelles il est rare qu'on ait besoin de correspondre, mais qui, à un moment donné, peuvent avoir à transmettre un avis important. On y installe, comme dans les autres, un appareil pouvant servir dans les deux directions; mais à l'état ordinaire les ressorts des deux commutateurs sont placés sur la lame de *communication*

directe, et les postes voisins communiquent directement entre eux.

Quand le chef de gare veut transmettre une dépêche, il commence par s'assurer, en regardant les boussoles, que la ligne n'est pas occupée, alors il coupe la communication et fait l'appel à son correspondant en ayant soin d'indiquer le nom de sa station. Après avoir passé sa dépêche, il rétablit la communication directe. On convient en outre de certaines heures fixes auxquelles il doit rentrer dans le circuit, soit pour recevoir les avis qu'on peut avoir à lui transmettre, soit seulement pour s'assurer que les appareils sont en bon état.

Aux stations principales, il aboutit toujours quatre fils, et, aux stations de bifurcation, il peut en arriver six ou même huit.

A chaque fil doit correspondre une sonnerie spéciale ou tout au moins un relais de sonnerie (nº 147) pour qu'on puisse connaître le correspondant qui fait un appel. Un récepteur ne sert pas en général pour plus de deux directions différentes.

Sur quelques lignes de chemin de fer, on ajoute aux appareils télégraphiques ordinaires un instrument nommé *communicateur* destiné à faire connaître aux postes intermédiaires, quand ils ont établi la communication directe, que la transmission est achevée et qu'ils doivent rentrer dans le circuit (nº 95). C'est un relais dont la palette est remplacée par un aimant fixe, mobile entre deux électro-aimants dont les bobines sont parcourues par le courant. Cet aimant est arrêté d'un côté par un buttoir ; quand il est sollicité de l'autre, il vient toucher une vis, et, fermant le circuit d'une pile locale, déclanche une sonnerie.

Chaque poste doit en outre être pourvu d'un inverseur qui permette de changer à volonté le sens du courant.

Pendant la transmission, les palettes des communicateurs reposant contre les buttoirs d'arrêt, restent immobiles ; quand à l'un des postes extrêmes on renverse le courant, les postes intermédiaires sont tous avertis par le mouvement de leurs sonneries.

275. — Sur les chemins de fer qui ont deux voies, il est expressément défendu de faire aller deux trains en sens contraire sur la même voie, et comme leur marche est calculée de façon qu'un

convoi ne puisse en rattraper un autre entre deux stations, il ne peut y avoir de rencontre que lorsque l'un d'eux est arrêté.

Dans ce cas, on envoie un homme en arrière pour faire, à 5 ou 600 mètres, aux trains suivants, les signaux de détresse qui consistent à agiter un drapeau ou une lanterne, à ouvrir les disques, s'il s'en trouve à portée, à mettre sur les rails des pétards qui éclatent quand ils sont pressés par les roues de la machine. Tous ces signaux sont suffisants, et, il n'y aurait jamais d'accident de cette nature à craindre, si les employés suivaient strictement leurs instructions.

On n'annonce pas généralement le départ des trains réguliers; on se borne à faire connaître leur retard, quand il y en a, pour éviter l'envoi des machines de secours.

La télégraphie électrique, outre qu'elle facilite singulièrement l'exploitation des chemins de fer, a permis aux Compagnies de réaliser de grandes économies et d'étendre dans une immense proportion leurs opérations commerciales.

Il existe sur les lignes un certain nombre de stations dites de dépôt auxquelles se tiennent les machines de réserve destinées, soit à remplacer celles des trains réguliers lorsqu'elles ne peuvent fonctionner, soit à aller au secours des trains en détresse.

Toutes les fois qu'un convoi est en retard, si l'on reste sans avoir de ses nouvelles pendant dix minutes, on fait partir une machine qui marche à sa rencontre sur la voie opposée.

Dans le principe, lorsqu'un train était en retard au début de son parcours, toutes les machines de secours de la ligne se mettaient donc successivement en mouvement.

Avec le télégraphe, on sait toujours entre quelles stations un train est arrêté, et la machine de dépôt la plus voisine va seule à son secours; comme les retards considérables sont le plus souvent causés par une succession de petits arrêts, l'envoi des machines de secours est extrêmement rare.

On a donc pu diminuer le nombre de stations de dépôt; la machine de secours est demandée par le chef de gare qui ne voit pas arriver le train quand il s'est assuré de son passage à la station précédente.

Le télégraphe permet de lancer sur la voie un plus grand nombre de convois sans qu'on ait à craindre que le service soit paralysé sur toute la ligne par un accident arrivé à l'un d'eux.

C'est surtout pour la distribution et l'emploi du matériel de transport, qu'il diminue les frais d'exploitation et augmente les ressources des Compagnies, car il permet de connaître à un instant donné les besoins de chaque station, le nombre de wagons disponibles qu'elle possède, celui des wagons pleins qu'elle doit faire partir, etc., etc.

Employer un matériel donné de façon à effectuer le plus de transports possibles, éviter les voyages de retour sans chargement, tel est le but vers lequel doit tendre une bonne administration.

C'est un problème assez complexe dont le télégraphe facilite la solution et que certaines Compagnies arrivent à résoudre beaucoup plus complétement que d'autres.

276. — Sur les chemins de fer qui n'ont qu'une seule voie, l'adjonction d'une ligne télégraphique est encore plus indispensable, et chacune des petites stations doit être en état de recevoir à chaque instant les communications des deux correspondants.

Les trains marchent en sens contraire sur la même voie, et ce n'est qu'à force de précautions qu'on peut éviter les collisions.

En cas d'arrêt d'un train, on ne peut envoyer à son secours, et l'on est forcé d'attendre que les cantonniers de la ligne, arrivant à pied, fassent connaître la cause et le lieu de l'accident. S'il n'y a pas de télégraphe, le service est forcément interrompu sur toute la ligne et l'interruption peut durer longtemps; si, au contraire, chaque station est munie d'un télégraphe, un homme se détache du train en souffrance et n'a que quelques kilomètres à parcourir pour arriver à un poste et demander du secours aux gares principales. La marche du train est arrêtée seulement entre deux stations, on en connaît la cause et le service régulier est promptement rétabli.

Avant de faire partir un train d'une station quelconque sur un chemin de fer à voie unique, on ne doit jamais manquer de prévenir par le télégraphe le chef de la station suivante en lui demandant si la voie est libre.

277. — On ne doit pas s'illusionner sur l'efficacité absolue des

secours que la télégraphie électrique prête à l'exploitation des chemins de fer, car la transmission peut être entravée par différentes causes sur lesquelles nous n'avons pas à revenir.

Le service doit donc être organisé de manière que le télégraphe ne soit pas un élément indispensable, mais qu'il vienne seulement en faciliter l'exécution.

Il est une observation importante sur laquelle on ne saurait trop appeler l'attention de tous les employés d'une Compagnie ; c'est qu'on ne doit jamais compter sur une dépêche télégraphique avant d'avoir reçu l'accusé réception du destinataire, et, comme il peut y avoir eu des erreurs dans la transmission, en cas de dépêche importante, il est utile de la faire répéter en entier. Ainsi un chef de gare qui ferait partir un convoi, en se proposant d'en prévenir ultérieurement son correspondant pour qu'il arrête à temps les trains qui peuvent venir à la rencontre du premier, engagerait gravement sa responsabilité, car il pourrait reconnaître, mais trop tard, que la ligne télégraphique est interrompue, et qu'il n'a aucun moyen de communication.

On a imaginé dans ces derniers temps une foule d'appareils fondés sur les mêmes principes que les récepteurs ordinaires, dans le but de diminuer les chances de collision ou de hâter l'arrivée des secours.

Les uns indiquent aux employés des gares et aux cantonniers le nombre et le sens des trains en marche entre deux stations, d'autres permettent à un convoi en détresse de prévenir les stations voisines du lieu où il se trouve arrêté ; d'autres enfin sont destinés à avertir le mécanicien qui conduit le train du danger qu'il peut y avoir à continuer sa route.

La plupart de ces systèmes, bons en théorie, sont en général trop délicats et sont trop soumis aux influences extérieures pour qu'on puisse compter sur leurs indications ; ils ont le grave inconvénient d'inspirer une fausse sécurité aux employés et de diminuer leur surveillance en même temps que leur responsabilité, c'est beaucoup plus, selon nous, par un bon choix du personnel, par une surveillance active et assidue, par l'exécution complète des règle-

ments que par l'emploi de ces appareils qu'on peut arriver à prévenir les accidents. Nous allons en citer quelques-uns.

278. **Appareils mobiles.** — L'appareil mobile de M. Bréguet n'est autre qu'un poste tout organisé réduit sous un petit volume de façon à pouvoir être placé dans un convoi.

En cas d'arrêt d'un train entre deux stations, on place cet appareil dans le circuit de l'un des fils conducteurs de la ligne, et l'on peut demander du secours sans envoyer à pied un homme jusqu'à la station voisine.

Tout le système est renfermé dans une boîte d'une dimension moyenne qui, lorsqu'on l'ouvre, présente le récepteur et le manipulateur placés dans leur position normale. La pile, composée de 15 à 18 éléments Daniell fermés avec des bouchons de liége, est placée dans un tiroir au-dessous du manipulateur. Toutes les communications sont établies au moyen de ressorts et de lames métalliques. On attache au bouton qui correspond à la terre un long fil conducteur terminé à l'autre extrémité par un petit coin qu'on enfonce dans l'intervalle de deux rails consécutifs. La communication avec la ligne s'établit avec une longue canne à rallonges, dont le bout en métal porte un ressort formant crochet, on engage ce crochet sur le fil omnibus qui s'arrête à toutes les stations (c'est ordinairement le fil inférieur). Une fois ces deux communications établies, on peut entrer en correspondance.

Le courant se divise ; il suit la ligne dans les deux directions et se rend aux deux stations voisines. La première opération à faire consiste à tourner la manivelle assez longtemps pour que les deux correspondants puissent régler leurs récepteurs, et, quand l'un d'eux a fait connaître qu'il est prêt à recevoir, on lui indique la cause de cette attaque en lui transmettant la demande de secours.

La boîte contient en outre une boussole et des bobines de résistance qu'on peut mettre dans le circuit lorsqu'on est placé trop près de l'une des stations.

La palette du récepteur est arrêtée par un bouton pour que les secousses ne puissent détériorer le mécanisme ; on la rend libre quand on veut se servir de l'appareil.

Sur quelques lignes de chemin de fer, on place des appareils mobiles sur tous les trains, mais ils sont rarement utiles. Sans parler des chances pour que l'appareil ou la pile ne soient pas en bon état, et pour que les communications avec la ligne et avec la terre ne soient pas suffisantes, la transmission simultanée entre trois postes dont deux au moins sont pris à l'improviste présente toujours certaines difficultés, et l'on comprend qu'elle puisse souvent ne pas réussir, quand elle est confiée à des chefs de station ou à des conducteurs de train peu familiarisés avec tous les détails du service télégraphique.

Ils peuvent rendre d'utiles services dans quelques cas particuliers, pour un train spécial, par exemple, car alors on peut placer dans le convoi un employé habile et les chefs de station sont prévenus d'avance.

Ils sont d'ailleurs d'un emploi commode pour établir promptement un poste provisoire en un point de la ligne; et à ce titre toutes les compagnies de chemin de fer doivent en avoir à leur disposition.

279. **Indicateurs des trains.** — Ces appareils, imaginés dans le but de diminuer les chances de collision sur les chemins de fer à une seule voie, sont placés à toutes les stations.

La partie principale est un cadran visible à l'extérieur du bâtiment pour toute personne qui se trouve dans la gare; c'est un galvanomètre dont l'aiguille, verticale à l'état de repos, s'incline dès qu'un train est en marche entre cette station et la suivante, le sens de l'inclinaison indiquant celui de la marche du convoi. Le signal persiste tant que le train reste engagé entre les deux stations, de sorte que chacun peut, en consultant le cadran, connaître l'état de la ligne.

Les chefs de gare sont chargés de la manœuvre de ces appareils qui, outre le récepteur indicateur, comprennent un manipulateur, une pile et deux interrupteurs.

Aux deux stations voisines, les deux pôles semblables des piles sont en communication par l'intermédiaire des recepteurs et du fil de la ligne; les autres pôles communiquent avec la terre. Les deux

courants, allant en sens opposé s'annulent, et les aiguilles des deux récepteurs restent verticales.

Au moment où un train va quitter l'une des stations, le chef de gare enlève la pile du circuit et établit une communication entre son indicateur et la terre. Le courant de l'autre pile agit alors seul, les deux aiguilles s'inclinent et conservent leur position.

Quand le train arrive à la station suivante, le chef de gare de cette dernière enlève à son tour la communication avec sa pile et les deux aiguilles reviennent à leur position première.

Comme deux trains peuvent être engagés dans le même sens entre deux stations, chaque indicateur porte deux aiguilles semblables. Deux fils spéciaux établis sur toute la ligne sont destinés à faire fonctionner ces appareils, ils s'arrêtent à toutes les stations et aboutissent à deux appareils indicateurs distincts correspondant aux deux directions.

R (*fig.* 127) est un de ces récepteurs indicateurs dont les deux aiguilles extérieures sont fixées aux mêmes axes que les aiguilles de deux galvanomètres.

Les fils qui entourent ces galvanomètres arrivent aux bornes *c, d, c', d'*; *d* et *d'* sont reliés aux fils qui vont d'un même côté de la station, *c* et *c'* aux bornes *h* et *h'* du manipulateur M composé de deux parties exactement semblables.

E est un électro-aimant dont l'armature *mn*, mobile autour de *m*, est retenue, quand il n'est pas aimanté, par le ressort de rappel U. Son extrémité touche la vis *q*. Le levier B*b*, mobile autour du point *b*, se meut à la main à l'aide de la poignée B; quand on pousse cette poignée vers la droite, l'arc métallique *k* pousse l'armature *mn* qui vient s'appliquer contre l'électro-aimant.

La vis *q* communique avec la borne *g*, l'interrupteur I et le pôle cuivre de la pile P; la vis *p*, par l'intermédiaire du fil de l'électro-aimant E et de la borne *t*, communique avec la terre ainsi que le pôle zinc de la pile.

A l'état ordinaire, le courant de la pile traverse l'interrupteur I, le fil conducteur I *gq*, l'armature *mn*, le fil *mhc*, circule dans la bobine du galvanomètre *a* et se rend sur la ligne.

Le courant du poste correspondant suit le même chemin, mais

sa direction est opposée, et l'aiguille *a* reste immobile ainsi que celle de la station voisine.

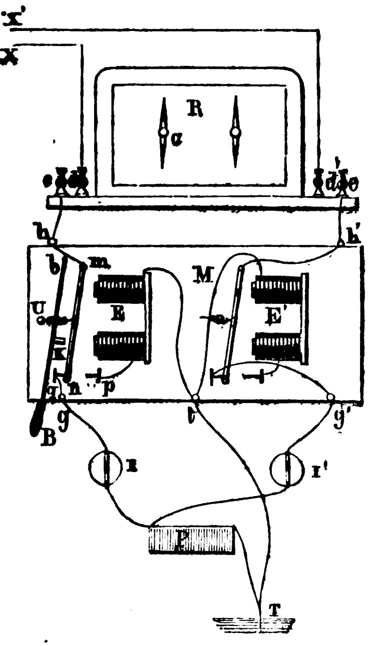


Fig. 127.

Pour indiquer le départ du train, le chef de gare pousse la poignée B vers la droite, l'armature *mn* s'applique contre l'électro-aimant E et touche la vis *p*.

Le courant de la pile *p* ne passe plus sur la ligne, mais celui de l'autre station se rend à la terre en traversant le fil de l'électro-aimant E qu'il aimante.

L'armature *mn* étant attirée par E, on peut laisser le levier B*b* reprendre sa position. Le but de l'électro-aimant est de rendre le contact de *mn* avec *p* permanent et indépendant du levier.

L'aiguille *a* ainsi que celle de l'indicateur correspondant s'in-

clinent jusqu'au moment où le train arrive à l'autre station ; le chef de gare de cette dernière interrompt alors un instant le courant avec son interrupteur I, les aiguilles reprennent leur position normale et l'armature *mn*, sollicitée par le ressort de rappel U, vient de nouveau toucher la vis *q*.

Si un second train doit partir à la suite, avant qu'on ait reçu l'annonce de l'arrivée du premier, on fait la même opération avec l'autre levier du manipulateur.

Le mouvement de l'aiguille étant produit par le courant de la station qui doit recevoir le signal, celui qui le transmet est certain, si son aiguille s'incline, que celle de son correspondant s'incline aussi (sauf le cas de désaimantation de l'une des deux aiguilles par suite d'une décharge atmosphérique).

On ne doit du reste regarder ces appareils que comme un accessoire qui ne doit en rien changer toutes les autres précautions à prendre en se servant des appareils télégraphiques ordinaires.

280. **Appareils de demande de secours.** — Les appareils mobiles, avec lesquels un train en détresse sur la ligne peut demander une machine de secours aux stations voisines, font quelquefois défaut ; on a essayé d'y remédier au moyen d'appareils fixes placés de distance en distance.

On divise la ligne en un certain nombre de sections dont chacune comprend à son milieu une station de dépôt.

Un fil spécial entre dans tous les bureaux des chefs de dépôt où il est en communication avec la pile, aux extrémités des sections il communique avec la terre. Ce fil est donc parcouru par un courant continu, et c'est par une série d'interruptions du circuit reproduites au dépôt que se fait l'appel.

A cet effet, à tous les quatre kilomètres le fil est arrêté ; il descend des deux côtés du poteau et aboutit à un petit appareil spécial nommé avertisseur par lequel le circuit est fermé.

Chacun de ces avertisseurs comprend (*fig.* 128) un galvanomètre R dont l'aiguille extérieure est mobile entre deux petits timbres et un manipulateur M.

La manivelle *gk* fait tourner un disque à gorge sinueuse qui,

dans sa rotation, éloigne et rapproche alternativement le ressort *cod* de la vis *h*.

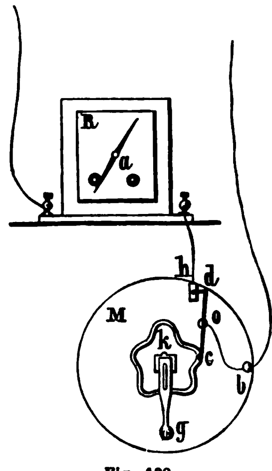


Fig. 128.

A l'état de repos, la manivelle est verticale et le contact existe entre le ressort *cod* et la vis *h*, le courant traverse le fil et l'aiguille de R est inclinée. Si un train est en détresse, un cantonnier se rend à pied jusqu'au premier avertisseur distant au plus de deux kilomètres, il fait faire un tour à la manivelle et le circuit se trouve interrompu autant de fois que le disque porte de sinuosités. Le premier avertisseur qui suit le dépôt n'en a qu'une, le second en a deux, le troisième trois, et ainsi de suite.

Au dépôt, le fil conducteur arrive à un appareil à cadran dont les lettres sont remplacées par des chiffres en nombre égal à celui des avertisseurs.

Le pôle de la pile est aussi en communication avec cet appareil qui est ainsi constamment traversé par le courant. Dans cet état, l'aiguille indicatrice doit être sur la croix, elle avance d'une division à chaque interruption.

Si donc un cantonnier fait faire un tour entier à la manivelle

de son avertisseur, l'aiguille du récepteur, au dépôt, tourne et s'arrête précisément sur le numéro qui correspond à celui de l'avertisseur avec lequel l'appel est fait.

La palette, au premier mouvement qu'elle fait, ferme le circuit d'une pile locale et déclenche une sonnerie qui prévient le chef de dépôt dans le cas où il n'est pas à son bureau.

Enfin les deux fils qui partent de la pile traversent un inverseur (n° 87), et, lorsque le chef de dépôt a reçu un appel, il change le sens du courant; le cantonnier, qui voit l'aiguille de son galvanomètre osciller et toucher l'autre timbre, est assuré qu'on a reçu son signal. Il fait faire un second tour à sa manivelle pour éviter toute chance d'erreur.

281. **Télégraphe des locomotives de M. Bonelli.** — Le système de M. Bonelli, qui a fait grand bruit dans le courant de l'année 1855, parce qu'on a cru y voir un remède universel contre tous les accidents de chemins de fer, consiste en un conducteur télégraphique d'une forme spéciale qui permet une transmission entre deux ou plusieurs convois en marche et les stations fixes d'une même ligne.

Ce conducteur est une barre en fer de 4 millimètres de diamètre sur 20 de hauteur placée entre les deux rails et isolée du sol par des supports en grès ayant la forme de champignons.

Chaque portion de la barre, ayant environ 30 mètres de longueur, se relie à la suivante par une lame de cuivre flexible qui établit le contact sans nuire aux effets de la dilatation.

On peut évaluer à 450 ou 500 francs par kilomètre le prix de revient de cette installation.

Cette barre communique avec toutes les stations de la ligne par des cordes métalliques souterraines.

Chaque convoi contient un poste télégraphique complet; le wagon dans lequel il est installé porte à la partie inférieure un frotteur ou glissoir métallique qui, pendant le trajet, touche constamment la barre et établit la communication entre le conducteur et l'appareil du convoi.

Le frotteur est une lame de tôle mince, recourbée, qui forme un ressort d'une résistance moyenne. Quatre plaques de tôles sem-

blables sont fixées à une traverse qu'on peut soulever de l'intérieur du wagon avec une manivelle.

La communication avec la terre a lieu par les essieux qui sont en rapport avec le sol par les roues et les rails.

Il y a donc une communication simultanée entre les diverses stations de la ligne et les convois qui tous se trouvent ensemble dans le circuit.

La barre ayant une section considérable et, par suite, une résistance très-faible par rapport aux bobines des appareils, la transmission peut s'effectuer sans difficultés, malgré la variation continuelle de la longueur de la ligne.

La barre est forcément interrompue aux croisements de voie et aux passages à niveau ; pour qu'il n'y ait pas de solution de continuité du circuit, on fait passer en dessous du sol une tige de fer de même dimension noyée dans le bitume ; au moment où le train passe, la transmission n'est pas arrêtée, parce que les quatre ressorts qui forment le contact sont distants de plusieurs mètres, et que l'un au moins appuie sur la barre quand les autres sont dans le vide.

Quelques expériences faites à Turin et plus récemment sur le chemin de fer de Paris à Saint-Cloud ont, paraît-il, bien réussi. Peut-on en conclure que la transmission sera toujours assez rapide et assez sûre pour prévenir toute chance d'accident, que les postes nombreux qui font partie du circuit ne se gêneront pas mutuellement, que le contact des frotteurs sera toujours suffisant même par les temps de brouillards où le télégraphe serait le plus utile, etc.? On ne peut l'affirmer et les expériences dont nous venons de parler sont loin d'être assez concluantes.

282. **Moniteurs électriques.** — Leur but est de donner au mécanicien le signal d'arrêt. Une sonnerie se trouve sur le tender ; elle communique d'un côté avec le pôle d'une pile également placée sur le tender et de l'autre avec un long fil conducteur ; un second fil est attaché à l'autre pôle de la pile. La fermeture ou la rupture du circuit, suivant la disposition adoptée, fait déclencher la sonnerie.

Ainsi, les deux conducteurs partent de la locomotive et circu-

lent jusqu'à l'extrémité du convoi où ils sont réunis ; le circuit est constamment fermé, et la sonnerie, dont l'électro-aimant est parcouru par le courant, reste au repos. Si le train vient à se diviser pendant la marche, les fils se rompent, et le jeu de la sonnerie l'indique au mécanicien. Quand le chef du train veut faire arrêter le convoi, il coupe lui-même la communication. La difficulté consiste dans l'établissement du circuit à travers les wagons sans qu'il en résulte de gêne pour les manœuvres dans les gares.

M. Guyard a proposé de placer deux fils parallèles aux rails, divisés par sections de 1,600 mètres, les interruptions pour l'un d'eux ayant lieu au milieu des sections de l'autre fil. La pile d'après ce système est en communication avec la terre par les essieux et les roues, et la sonnerie avec les deux séries de fils par des frotteurs. Le circuit est ouvert à l'état ordinaire.

Quand il y a danger, un cantonnier fait communiquer à la terre un des deux fils et le circuit se trouve fermé ou moment du passage du train.

Si deux convois arrivent l'un sur l'autre, il existe un moment où leurs frotteurs touchent le même fil (à 800 mètres de distance au plus), le circuit se complète pour chacun d'eux par l'appareil de l'autre. Il n'y aurait pas de courant si la disposition des pôles des deux piles était identique. On ajoute donc un interrupteur qui marche en vertu d'un mécanisme d'horlogerie et change le sens du courant à chaque instant.

On peut aussi, lorsqu'un seul train circule sur une voie, indiquer aux stations voisines son passage à chaque kilomètre, de façon qu'on puisse connaître à chaque instant sa position.

Un fil particulier, suspendu aux poteaux de la ligne télégraphique ordinaire, relie deux appareils à cadran placés aux deux stations, une pile se trouvant dans le circuit à l'un des postes. Le fil est interrompu à chaque poteau kilométrique, la communication entre les deux parties du conducteur se fait par l'intermédiaire de deux fils recouverts de gutta-percha qui arrivent à un petit appareil posé sur le sol auprès des rails et qui comprend une pièce métallique fixe reliée à l'un des fils et une forte lame d'acier, formant ressort reliée à l'autre

La locomotive est munie d'un appendice, et chaque fois qu'elle passe devant un de ces appareils, elle pousse la lame d'acier et rompt pendant un instant le circuit.

Les chiffres marqués sur les appareils sont les mêmes que ceux des kilomètres ; ils sont inscrits seulement sur les divisions paires. L'aiguille se trouve donc entre deux nombres quand le courant circule ; lorsque la locomotive a franchi un poteau d'arrêt, elle passe entre les deux suivants et reste dans cette position tout le temps que le train met à parcourir le kilomètre.

APPLICATIONS DIVERSES.

283. — Nous n'avons pas besoin d'insister sur l'étendue des services que la télégraphie électrique est appelée à rendre chaque jour aux gouvernements, au commerce, et aux particuliers même dans les circonstances les plus ordinaires de la vie privée. L'immense développement qu'a pris en quelques années la télégraphie en est une preuve suffisante.

On a eu, sans doute, dans le principe, à se plaindre souvent de l'irrégularité des transmissions. Des retards et des erreurs ont plus d'une fois compromis le succès des messages ; mais les soins qu'apporte l'administration dans le contrôle et l'extension du réseau qui permet de donner plusieurs directions aux dépêches rendent ces mécomptes de plus en plus rares.

Envisagée dans ses rapports avec la science, la télégraphie est également destinée à jouer un rôle important, nous en citerons quelques exemples :

284. **Applications aux observations météorologiques.** — L'état atmosphérique d'un lieu ne tient pas à des causes uniquement locales, et la connaissance à un moment donné des diverses circonstances météorologiques, telles que la direction et la force du vent, l'état du ciel, la température, la pression atmosphérique, en un grand nombre de points plus ou moins éloignés, peuvent servir à faire prévoir les changements de temps et à donner des indications précieuses pour l'agriculture et l'industrie.

C'est surtout dans les grands cataclysmes que cette simultanéité d'observations peut avoir d'utiles conséquences. Les ouragans les trombes, par exemple, ne se localisent pas, mais parcourent sur la surface de la terre une courbe plus ou moins étendue avec une vitesse inférieure à celle de l'électricité. Leur passage en des points différents, annoncé au loin par le télégraphe, permet de prédire à coup sûr le moment de leur arrivée quelques heures d'avance, et souvent ce temps est suffisant pour conjurer leurs effets destructeurs.

L'administration française, à la demande du directeur de l'Observatoire, a organisé dans un certain nombre de postes un système complet d'observations météorologiques.

La note suivante a été communiquée à ce sujet à l'Académie des Sciences, dans la séance du 2 juin 1856, par M. Leverrier :

« Il y a environ un an, nous avons eu l'honneur de communiquer à l'Académie quelques relevés d'observations météorologiques simultanées, recueillies à la surface de la France par les soins de l'administration des lignes télégraphiques. A cette époque, le but de l'Observatoire impérial de Paris et de l'administration des lignes télégraphiques avait été d'essayer s'il serait possible, sans nuire au service administratif, d'établir un système régulier d'observations dont une partie serait transmise chaque jour par le télégraphe. Cette possibilité ayant été admise, les deux administrations se sont entendues, conformément aux intentions du gouvernement, et suivant les ordres de MM. les ministres de l'Intérieur et de l'Instruction publique, pour mener à bonne fin une entreprise qui présentait de grandes difficultés.

« Il fut d'abord reconnu qu'il importait à la régularité du nouveau service, que les observations fussent faites dans les postes télégraphiques, qui devraient être à cet effet munis d'instruments. Nous n'ignorions pas que dans un certain nombre de localités, nous pouvions compter sur le zèle de quelques amis de la science ; mais nous n'avons pas voulu leur imposer une aussi lourde charge que celle d'une transmission quotidienne, régulière et à heure fixe, de leurs observations aux postes télégraphiques. Malgré le dévouement des observateurs météorologistes des départements,

il aurait été impossible, à cause de leurs autres occupations, d'arriver à une uniformité suffisante, et des irrégularités se seraient inévitablement produites. De plus, les observatoires particuliers ne pouvaient présenter les garanties de durée et de permanence des stations administratives. Enfin, l'addition des nouveaux postes offrait le grand avantage de multiplier le nombre des stations météorologiques à la surface de la France.

« Ce premier point ayant été arrêté, il fut convenu avec M. le directeur général DE VOUGY, que l'administration des lignes télégraphiques ferait recueillir les observations par ses agents et les ferait transmettre à l'Observatoire impérial de Paris, partie par le télégraphe, partie par la poste; tandis que, de son côté, l'Observatoire fournirait les instruments et les instructions, réduirait les observations et les ferait publier.

« Enfin, chacune des deux administrations chargea l'un de ses fonctionnaires de mettre ce plan à exécution. L'administration des télégraphes a délégué M. Pouget-Maisonneuve, connu pour les importantes améliorations qu'il a introduites, notamment dans les appareils électro-chimiques. Du côté de l'Observatoire impérial, M. Liais était naturellement désigné.

« Les instruments ont dû remplir des conditions particulières. Il était nécessaire qu'ils fussent aisément et rapidement observables, tout en conservant la précision des instruments ordinaires. M. Liais a donc fait construire un système de baromètre à une seule lecture, se graduant par comparaison avec un étalon sur la machine pneumatique, et qui remplit parfaitement le but proposé; ce baromètre a exigé la formation de nouvelles tables de réduction. Les thermomètres ont été gradués sur tige, numérotés sur plaque d'émail, ce qui les rend toujours très-aisés à lire. De plus, ils ont leur réservoir couvert d'une feuille métallique destinée à diminuer les effets de la radiation.

« Outre les instruments, les divers postes ont reçu des registres inscrits à leur inventaire et dont ils conserveront toujours la collection; en sorte que chaque station possédera dans l'avenir l'ensemble de ses observations passées. Indépendamment des transmissions

télégraphiques, les observations sont envoyées journellement par la poste à l'Observatoire au moyen de bulletins.

« L'instruction particulière que possèdent les employés de l'administration des télégraphes est un sûr garant que les observations seront bien faites ; les connaissances de ceux qui sont chargés de ces observations les porteront à s'intéresser à une opération scientifique et utile, et déjà nous avons la satisfaction d'ajouter que le but a été complétement atteint. Pour ne pas trop surcharger les employés, trois observations seulement par jour ont été ordonnées, à l'ouverture du bureau, à 3 heures et à 9 heures du soir, avec invitation d'observer plus fréquemment, *s'il était possible*. Nous sommes heureux de dire que dans presque toutes les stations, il existe plusieurs observations supplémentaires, le Hâvre, Abbeville, Strasbourg, Châlons-sur-Marne, Bayonne, fournissent même *six* observations par jour.

« Le directeur général des lignes télégraphiques, M. DE VOUGY, a tenu à signer lui-même l'instruction, qui a été insérée au recueil administratif. Elle est devenue ainsi article de règlement.

« Les stations, au nombre de vingt-quatre, ont été réparties entre les divers bassins du Rhin, de la Seine, de la Loire, de la Gironde et du Rhône, de manière à faire connaître le mieux possible l'ensemble de l'état atmosphérique de chacun de ces cinq grands bassins. Quoique des considérations non scientifiques, telles que le parcours des fils télégraphiques, la multiplicité des dépêches sur certaines lignes, la situation des postes dans les villes, ne nous aient pas toujours permis de placer nos stations sur les points que nous aurions préférés, nous pensons que les stations désignées rempliront le but que nous nous sommes proposé.

« Nous possédons ainsi, y compris Paris, vingt-cinq stations réparties comme il suit, par ordre de bassins : Mulhouse, Strasbourg, Mézières, Dunkerque ; Tonnerre, Paris, Châlons-sur-Marne, Abbeville, le Hâvre ; Clermont-Ferrand, Nevers, Le Mans, Limoges, Napoléon-Vendée, Saint-Brieuc, Brest ; Rodez, Montauban, Bayonne, Rochefort ; Besançon, Lyon, Avignon, Draguignan, Narbonne.

« Treize de ces stations transmettent, par le télégraphe, une

observation faite à l'ouverture du bureau; ce sont : Strasbourg, Mézières, Dunkerque, Tonnerre, le Hâvre, Limoges, Napoléon-Vendée, Brest, Montauban, Bayonne, Besançon, Lyon, Avignon. Ces treize stations jointes à Paris, suffiront à donner chaque jour une idée de l'état de l'atmosphère en France. On n'a pas cru devoir demander l'extension de la transmission télégraphique à un plus grand nombre de stations, pour ne pas entraver le service administratif.

« Des mesures vont être prises pour que très-prochainement, ces observations soient données au public immédiatement après leur arrivée. Elles seront en outre insérées dans plusieurs journaux et dans une forme propre à faire ressortir les changements survenus depuis la veille.

« Malgré le bon vouloir que l'on a rencontré de toutes parts, l'organisation des stations, sur une grande étendue de pays, a été longue et difficile.

« Les baromètres surtout ayant par trop souffert, quand on les remettait aux voitures publiques, il a fallu en faire porter une partie par un fonctionnaire de l'observatoire. D'autres ont été confiés à diverses personnes, à M. Caillet, examinateur de la marine, à M. Petit, directeur de l'Observatoire de Toulouse, qui ont bien voulu s'en charger. MM. les ingénieurs des ponts et chaussées nous ont très-obligeamment fourni l'altitude exacte des postes. Toutes les stations télégraphiques sont présentement en état de fonctionner, moins Brest dont tous les instruments sont prêts.

« On comprend qu'il y aurait grand intérêt à relier à l'étranger l'organisation que nous venons d'établir en France. Quelques ouvertures ont déjà été faites dans ce sens, et partout elles ont été parfaitement accueillies.

« Il nous reste à pourvoir à la publication de l'ensemble des documents recueillis, afin que ces documents, étant promptement mis entre les mains de tous les amis de la science, leur discussion soit à la fois plus rapide et plus fructueuse. Nous nous occupons de ce complément indispensable de la nouvelle organisation. »

285. **Détermination des différences de longitude.** — La diffé-

rence de longitude entre deux points est l'angle que forment les plans méridiens qui passent par ces deux points.

Quand cette différence est nulle, le soleil et les étoiles passent en même temps au méridien pour les deux points ; dans le cas contraire, il s'écoule un certain temps entre le passage d'une étoile à l'un des plans méridiens et son passage au second. Ce temps sert à mesurer la différence des longitudes.

Pour faire l'expérience, on observe des deux côtés la même étoile ; un signal est donné simultanément aux deux observateurs qui notent le temps écoulé entre le signal et le moment du passage de l'étoile au méridien.

Le télégraphe sert à donner ce signal. On se servait antérieurement de fusées pour des lieux très-rapprochés, et, pour des points éloignés, de phénomènes astronomiques tels que des éclipses de lune ou des occultations d'étoiles.

On a fait dans le courant de l'année 1854 de nombreuses expériences pour déterminer cette différence de longitude entre Paris et Londres.

Il se présentait une difficulté tenant à ce que, sur la ligne sous-marine de Calais à Douvres, la transmission de l'électricité éprouve un retard très-appréciable ; le signal fait à Paris ne se reproduit à Londres qu'après un intervalle d'environ $\frac{8}{100}$ de seconde.

On a supposé que ce retard était le même pour le courant envoyé de Paris et pour le courant envoyé de Londres, bien que la position de la partie sous-marine ne soit pas identique pour les deux villes, et l'on a pris la moyenne de plusieurs observations dans lesquelles le signal partait alternativement de Paris et de Londres.

286. **Transmission du temps moyen.** — Les navigateurs ont un grand intérêt à régler, en partant d'un port, leur montre marine sur une horloge indiquant très-exactement le temps moyen d'un lieu déterminé de la terre, car, c'est d'après l'heure qu'indique cette montre et le passage du soleil ou des étoiles au méridien, qu'ils peuvent connaître la longitude des points où ils se trouvent en mer.

Le télégraphe fournit un moyen facile d'envoyer, au moins une fois par jour, l'heure d'un observatoire central aux principaux ports de mer.

On convient, par exemple, d'une heure fixe, à laquelle un signal, parti de l'observatoire, arrive instantanément à tous les points auxquels se trouvent les horloges à régler dont l'aiguille est ramenée à l'heure normale, soit par le courant lui-même de l'observatoire, soit par un employé spécial chargé de ce soin.

Ce système, adopté depuis plusieurs années en Angleterre, doit l'être prochainement en France.

287. **Horloges électriques.** — Dans les horloges purement électriques le courant remplace le moteur; il rend à un pendule, qui fait directement tourner une roue dentée, la force que lui font perdre constamment le frottement et la résistance de l'air.

On peut obtenir ce résultat de la manière suivante : A (*fig.* 129)

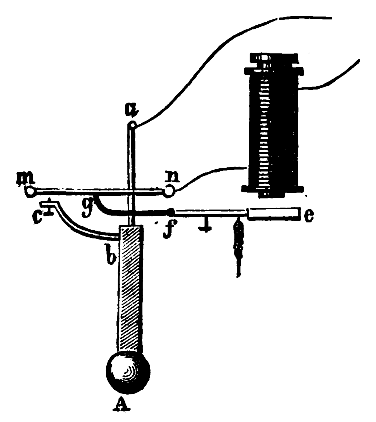


Fig. 129.

est le pendule suspendu au point *a* par un ressort très-mince en acier; il porte un appendice recourbé *bc* terminé par une vis *c*. E est un électro-aimant; l'armature *e* est mobile autour du point *f*, sa tige *fg* est recourbée. *mn* est un petit levier fixé en *n* qui porte

à son extrémité une petite masse *m*; il est soutenu par la tige *fg* de la palette.

Le fil de l'électro-aimant est relié d'une part au point fixe *n* du levier *mn*, de l'autre au point de suspension *a* du pendule, par l'intermédiaire d'une pile.

Le pendule étant vertical, la vis *c* ne touche pas le levier *mn* et il n'y a pas de courant; mais quand il s'élève sur la gauche, il arrive un moment où la vis *c* soulève le levier *mn* et ferme le circuit de la pile, la palette *e* est attirée et l'extrémité *g* de la tige s'abaisse. Le pendule continue à monter en entraînant la masse *m*, jusqu'à ce qu'il arrive à l'extrémité de sa course, après quoi il redescend.

La masse *m* appuie plus longtemps sur le bras *bc* pendant la descente du pendule que pendant son ascension, puisque la tige *g* est abaissée; elle lui rend donc par son poids, non-seulement la force qu'elle lui avait fait perdre quand elle était soulevée, mais encore celle qu'il emploie à vaincre le frottement et les résistances extérieures.

La masse *m* descend avec le bras *bc* du pendule, jusqu'à ce qu'elle se trouve arrêtée par la pointe *g*, le circuit se rompt, la tige *fg* se relève sous l'action du ressort de rappel, et le pendule continue son mouvement de l'autre côté.

Le courant ne servant qu'à abaisser la tige *fg*, l'intensité n'a pas d'influence sur la durée des oscillations du pendule; deux lames, l'une de cuivre, l'autre de zinc, plongées dans le sol, produisent une force électro-motrice suffisante.

Pour compléter l'horloge il suffit d'ajouter au pendule une tige qui fasse, à chaque oscillation, tourner une roue dentée. Cette roue, par une série d'engrenages, communique le mouvement à l'aiguille des heures et à celle des minutes.

288. Le rôle de l'électricité peut être envisagé sous un point de vue beaucoup plus utile.

Le courant ne remplace plus le moteur, mais il transmet télégraphiquement l'heure, en faisant tourner les aiguilles de plusieurs cadrans situés à des distances quelconques.

Une horloge mère sert de manipulateur; c'est une horloge ordinaire qui ferme, à des instants déterminés, par exemple, toutes les

secondes, le circuit d'une pile et envoie le courant sur la ligne. A cet effet, l'un des axes fait tourner une roue interruptrice qui communique avec la pile, et sur la circonférence de laquelle un ressort, relié au fil conducteur, appuie constamment. Si la roue porte 60 lames métalliques, et si elle fait un tour par minute, le courant circulera à chaque seconde pendant un instant dans le fil extérieur.

Les horloges secondaires ne sont autres que des appareils à cadrans analogues à celui de la figure 115, dont les lettres sont remplacées par les heures et les minutes.

La partie principale est un électro-aimant dont la palette fait, à chaque oscillation, tourner une petite roue dentée. Si la roue a 60 dents, l'aiguille fixée au même axe tournera de 1/60 du cadran à chaque émission de courant et pourra représenter l'aiguille des secondes ; elle fait tourner, par l'intermédiaire d'autres roues dentées, l'aiguille des minutes et celle des heures.

On supprime ordinairement l'aiguille des secondes, et l'horloge mère envoie le courant à des intervalles de quatre ou cinq secondes au moin.

On peut ainsi faire marcher un nombre indéfini de cadrans, pourvu que la pile soit assez puissante.

Tous les électro-aimants peuvent être placés dans le même circuit; mais on préfère ordinairement faire partir de l'horloge mère deux conducteurs principaux d'un gros diamètre, qui sont réunis par les fils des électro-aimants des divers cadrans.

Chaque appareil est ainsi traversé par une dérivation du courant, et l'un d'eux peut être dérangé sans arrêter la marche des autres.

Les horloges électriques diffèrent beaucoup, tant par la manière dont s'opère l'émission du courant que par la forme des horloges secondaires.

On a adopté, dans beaucoup de grands établissements, et même dans quelques villes, les horloges électriques, qui permettent d'obtenir, sans beaucoup de frais, un grand nombre de cadrans indiquant tous la même heure.

Une autre application qui a été faite de l'électricité à l'horlogerie

consiste à régler à distance les aiguilles de plusieurs horloges ordinaires en les ramenant à une position fixe à certains instants de la journée.

Un chronomètre régulateur fait, au moment donné, passer le courant pendant un intervalle de temps très-court; chacune des horloges est munie d'un électro-aimant dont le fil est placé dans le circuit; cet électro-aimant attire une petite fourche qui ramène à l'heure l'aiguille, si elle s'en est un peu écartée.

289. **Enregistreurs électriques.** — On a dans beaucoup de circonstances, et notamment dans les observations météorologiques, à suivre la marche continue d'instruments dont les indications ne sont utiles que si elles sont notées régulièrement et sans interruption.

L'électricité fournit un moyen de faire enregistrer ces indications par l'instrument lui-même dans le cabinet de l'observateur qui trouve, au moment où il en a besoin, toutes les données qui lui sont nécessaires.

La partie commune à tous les enregistreurs est un appareil télégraphique formé d'un cylindre qui tourne sur lui-même en même temps qu'il avance dans le sens de son axe et sur lequel est enroulé une large feuille de papier; à côté de l'appareil est une pile, et, chaque fois que le circuit est fermé, un stylet laisse une marque sur le papier, soit que le courant circulant autour d'un électro-aimant fasse marcher un crayon ou une pointe sèche, soit que le papier préparé au cyanure de potassium se colore en bleu comme pour les récepteurs électro-chimiques.

La vitesse de rotation du cylindre étant constante et parfaitement connue, on sait, à l'inspection de la bande de papier et d'après la position des points ou des traits, à quels moments le circuit a été fermé et combien de temps il l'a été.

Deux fils partent, l'un de la pile et l'autre de l'électro-aimant ou du stylet; ils vont aboutir à l'instrument, dont on veut obtenir les indications, qui peut être à une assez grande distance de l'enregistreur.

Pour avoir la vitesse de rotation variable d'une roue ou d'un axe, on fait aboutir l'un des fils à l'axe lui-même, et l'autre à un ressort

disposé de façon à se trouver pendant un instant en communication avec l'axe à chaque tour ou à chaque série de tours déterminée. Une languette, par exemple, fixée à l'axe, établit ce contact au moment où elle passe devant le ressort ; le temps qu'a mis l'axe à exécuter sa rotation, se trouve représenté sur le papier par des espaces blancs entre des points.

Pour quelques instruments météorologiques, tels que les baromètres et les thermomètres, c'est la hauteur d'une colonne de mercure qu'il s'agit d'enregistrer à distance.

On adapte alors à l'instrument un mécanisme d'horlogerie qui élève et abaisse d'un mouvement régulier une petite tige métallique ; le liquide communique avec un des fils de l'enregistreur, et la tige avec l'autre. Quand la tige s'abaisse, elle touche le liquide et ferme le circuit jusqu'au moment où en s'élevant elle sort du mercure.

Le passage du courant marqué sur le papier de l'enregistreur fait donc connaître le temps pendant lequel la tige a plongé dans le liquide et par suite la hauteur du niveau, en même temps que le moment précis de la fermeture du circuit.

M. du Moncel a appliqué l'enregistreur à la détermination de la direction et de la force du vent.

Le pied de la girouette est fixé sur un plateau en bois sur lequel sont incrustés huit secteurs métalliques correspondant aux huit aires du vent.

La girouette porte un doigt métallique qui, suivant sa position, s'appuie sur l'un quelconque de ses secteurs.

Le doigt communique par un fil avec le pôle de la pile, et les secteurs par huit fils distincts à l'enregistreur ; le circuit étant fermé par l'un quelconque de ces huit fils, on connaît le secteur au-dessus duquel s'est trouvée la girouette à un moment quelconque.

La force du vent est donnée par un moulinet que le vent fait tourner et dont le nombre de tours est noté dans le cabinet de l'observateur comme nous l'avons dit plus haut.

Un appareil semblable ajouté à un piano peut permettre à un improvisataur de retrouver exactement le morceau qu'il vient de jouer. Chaque touche correspond dans ce cas à un stylet spécial,

et quand on l'abaisse elle ferme le circuit d'une pile dont le courant produit une marque sur le rouleau. Le papier conserve ainsi la trace de toutes les notes avec leurs durées et leurs intervalles; on n'a plus qu'à traduire en langage musical ordinaire les indications de l'enregistreur.

290. **Chronoscope.** — Nous terminerons cette courte étude des applications de l'électricité, qui ont un certain rapport avec la télégraphie, par la description du chronoscope qui sert à mesurer la vitesse des projectiles.

Le problème à résoudre est de déterminer le temps que met un boulet à parcourir la distance qui sépare deux points.

On place en ces deux points deux cadres en bois sur lesquels sont tendus des fils conducteurs qui font partie de deux circuits voltaïques. Le boulet traversant les deux cadres rompt successivement les deux circuits; le chronoscope donne le temps qui s'est écoulé entre leurs ruptures.

Parmi les divers chronoscopes qui ont été essayés, celui de M. Navez est le plus exact; il est employé au polygone d'artillerie de Metz dans une série d'expériences entreprises pour déterminer la résistance de l'air.

A et B (*fig.* 130) sont les deux cadres.

La première partie de l'instrument E est un disque en cuivre vertical gradué à la partie supérieure. Un pendule *ab* est mobile autour du centre *a* de ce disque ; quand il est abandonné à lui-même, il oscille et s'arrête dans la position verticale. Il est terminé par une boule en fer doux *b*.

En F est un électro-aimant dont la bobine fait partie du même circuit que le fil conducteur du premier cadre A et qu'une pile P ; tant qu'il est fermé, cet électro-aimant est aimanté et retient la boule *b*, qu'on applique contre lui avant de commencer l'expérience.

Au moment où le boulet traverse le cadre, le circuit est rompu, et le pendule, abandonné à lui-même, commence son oscillation.

Sur le prolongement de la tige *ba* du pendule, est une aiguille *ac* qui se meut avec lui en face de l'arc gradué, mais qui peut être arrêtée à un instant donné sans empêcher le pendule de continuer

son mouvement. Elle est fixée à une petite rondelle en fer doux qui tient par frottement à l'axe du pendule. Derrière le disque en

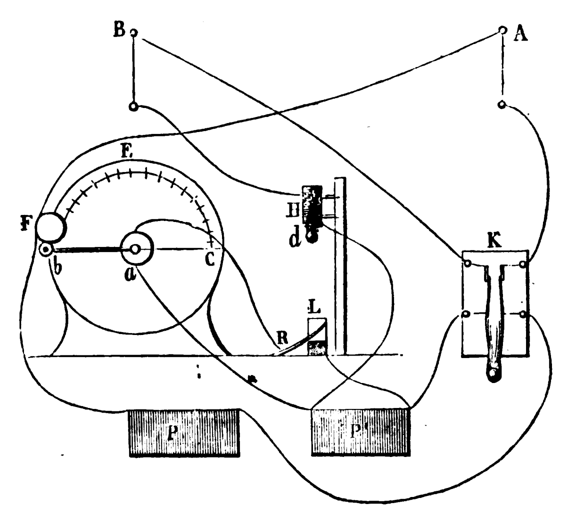


Fig. 130.

cuivre est un électro-aimant qui, au moment où il est aimanté, attire cette rondelle et arrête instantanément l'aiguille.

L'effet de la rupture du second cadre B est de produire cette aimantation et de faire connaître ainsi l'espace parcouru par le pendule depuis son départ de l'électro-aimant F jusqu'à cet instant.

Le second cadre se trouve dans le même circuit qu'une pile P' et qu'un électro-aimant vertical H; une petite balle en fer doux *d* reste suspendue à cet électro-aimant tant que le circuit est fermé; quand le boulet traverse le cadre B, il rompt le circuit; la balle *d* tombe par son propre poids dans un petit cylindre L rempli en partie de mercure; elle presse en tombant un ressort R qui vient toucher le mercure et ferme le circuit de la bobine de l'électro-aimant placé derrière le disque E.

Ainsi, quand le boulet traverse les deux cadres, l'angle de rotation du pendule, indiqué par l'aiguille *ac*, comprend : 1° le temps que le boulet a mis à passer entre les deux cadres ; 2° le temps nécessaire à la chute de la balle *d* ; 3° le temps que les électro-aimants mettent à perdre et à prendre leur magnétisme, qui ne peut être négligé et varie avec la force des piles.

La troisième partie de l'instrument K, nommée disjoncteur, est destinée à éliminer ces constantes. C'est un double interrupteur au moyen duquel on rompt simultanément les deux circuits.

Quand on le met en mouvement, l'effet est le même que si les deux cadres étaient placés l'un à côté de l'autre, et l'angle décrit par l'aiguille est due seulement au temps de la chute du poids *d* et de la désaimantation des électro-aimants. Chaque expérience doit être précédée de cette opération ; on note l'angle marqué par l'aiguille, et quand l'appareil est installé de nouveau, on donne le signal du feu. L'augmentation de la déviation dépend seulement du temps que le boulet a mis à parcourir la distance des cadres. On transforme facilement cette déviation en temps, d'après les lois connues sur le mouvement du pendule.

Le disjoncteur comprend quatre lames dont deux sont fixes ; les deux autres entrent à frottement dans les deux premières et établissent les communications ; elles tiennent à une tige qu'une détente fait partir quand on veut rompre instantanément les circuits.



NOTES.

Note 1. (*Voir n° 19.*)

THÉORIE ÉLECTRO-CHIMIQUE.

L'étude de la physique ne serait qu'une simple affaire de mémoire, et offrirait peu d'intérêt si l'on se bornait à énoncer les faits et les lois qui résultent des observations, sans chercher à les rattacher entre eux par des théories.

Comme les agents, qui sont les causes premières des phénomènes naturels, ne tombent pas sous nos sens, on est réduit à faire sur leur nature des hypothèses auxquelles on évite autant que possible de donner un caractère trop métaphysique.

Il peut arriver qu'à un certain moment la découverte de lois nouvelles démontre l'insuffisance ou l'inexactitude d'une théorie : on l'abandonne alors pour en établir une nouvelle qui se complète à mesure que la science progresse.

Si les hypothèses ont l'inconvénient d'imprimer quelquefois une fausse direction aux recherches, elles ont du moins l'avantage de faire souvent mieux comprendre les faits que ne pourraient le faire de longues descriptions, et de fixer les idées d'une manière nette et précise.

Ainsi, pour l'électricité, l'hypothèse des deux fluides rend parfaitement compte de tous les phénomènes, d'attraction et de répulsion, d'électrisation par influence, de condensation, etc., qu'il serait sans doute assez difficile d'exposer autrement avec autant de simplicité et de clarté.

La transmission des courants se comprend plus aisément en admettant un seul fluide, ne produisant aucun effet quand la tension est normale, mais qui, sous une influence étrangère, peut acquérir une tension plus forte ou plus faible, et s'écoule à la manière des gaz. (*Voir* note 8.)

Enfin, quelques faits nouveaux établissent entre la lumière et l'électricité une certaine analogie qui paraît entraîner comme conséquence l'hypothèse d'un fluide universel dont les vibrations se manifestent sous des aspects divers.

Quoi qu'il en soit, du reste, les phénomènes d'électricité statique sont si simples, que, même en admettant qu'on parvienne un jour à remplacer la théorie actuelle par une autre plus complète, il sera toujours possible de conserver la même terminologie, sauf à donner aux mots d'électricité positive et négative une nouvelle signification ; l'électricité positive représentera un fluide dont la tension est supérieure à la tension normale, ou un mouvement vibratoire s'effectuant dans un certain sens, et l'électricité négative se rapportera aux effets inverses.

L'électricité, si elle n'est pas la cause unique des réactions chimiques, y joue au moins un rôle important ; la combinaison de deux corps ne peut, en effet, avoir lieu sans être accompagnée d'un développement d'électricité, et, d'un autre côté, la substance qui résulte de cette combinaison, si elle est traversée par un courant, se décompose en ses deux éléments primitifs, dont l'un est attiré par le pôle positif de la pile, et l'autre par le pôle négatif.

Il existe deux théories distinctes par lesquelles on a cherché à concilier l'hypothèse des deux fluides avec ce développement d'électricité. L'une consiste à admettre que chaque molécule d'un corps possède une certaine quantité d'électricité qui lui est propre, et dont elle ne peut se séparer ; d'après l'autre, chaque molécule contiendrait simultanément les deux fluides qui formeraient deux pôles distincts, de sorte que, suivant son orientation, elle pourrait être attirée tantôt par l'électricité positive, tantôt par l'électricité négative.

On peut faire à l'une et à l'autre plusieurs objections ; mais, comme la première, due à Ampère, est assez simple, nous allons essayer d'en donner une idée :

Soit A (*fig.* 131), une molécule d'un corps renfermant une masse a d'électricité qui fait partie de sa constitution ; supposons cette électricité positive ; elle agit par influence sur le fluide neutre que contient tout le corps, et attire à la surface de la molécule de l'électricité contraire qui lui forme une sorte de petite atmosphère de fluide négatif.

La molécule B d'un autre corps étant électrisée négativement, est entourée d'une atmosphère d'électricité positive.

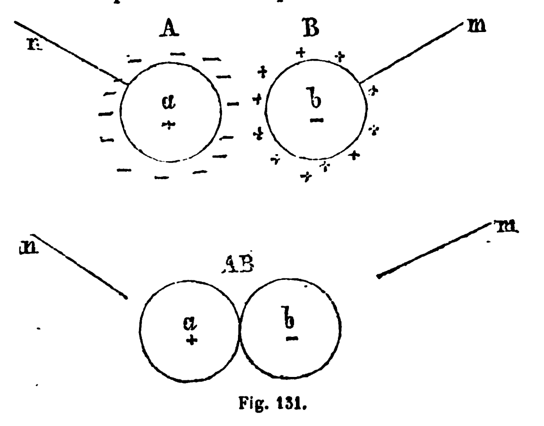


Fig. 131.

On nomme électro-positifs les corps tels que A, dont l'électricité inhérente est positive, et électro-négatifs, ceux qui sont électrisés négativement. Tous les corps simples se divisent donc en deux catégories suivant la nature de l'électricité des molécules élémentaires.

L'atmosphère qui entoure chaque molécule n'empêche pas d'ailleurs le corps de pouvoir contenir en outre du fluide neutre, et tous les phénomènes d'électrisation par influence s'expliquent également avec cette hypothèse sur la constitution des atomes.

Quand deux molécules A et B douées d'électricités contraires sont en présence, les atmosphères qui les entourent les empêchent de se combiner; pour qu'elles puissent se réunir en une seule AB, il faut qu'une cause étrangère vienne rompre l'équilibre en imprimant un mouvement quelconque aux atmosphères. C'est ainsi que l'oxygène et l'hydrogène, dont le premier est électro-négatif et le second électro-positif, peuvent se trouver mélangés dans un même vase sans se combiner; si l'on fait passer dans le mélange une étincelle électrique, elle détermine une secousse qui écarte sans doute les atmosphères et détermine le rapprochement des molécules, et par suite la formation du composé.

Lorsque a est plus grand que b, la molécule AB, résultant de la combinaison est électro-positive, et contient une quantité d'électricité égale à $a - b$. Les atmosphères se réunissent également; celle qui en-

toure A est neutralisée, en partie, par celle qui entoure B, et la portion qui reste libre est évidemment égale à la quantité d'électricité que la molécule AB attire à sa surface.

Un corps composé peut donc être, comme un corps simple, électro-positif ou électro-négatif. Les acides sont électro-négatifs, et les oxydes électro-positifs.

Quand *a* est égal à *b*, la molécule AB est à l'état neutre. Les fluides qui entourent les deux molécules sont aussi en quantités égales, et se neutralisent complétement.

Si A et B sont en communication avec deux conducteurs *m* et *n*, les atmosphères peuvent se répandre sur ces deux corps en laissant libres les deux molécules, dont aucune cause n'empêche alors le rapprochement et la combinaison.

Les électricités qui forment les atmosphères ne se répandent pas directement sur les deux conducteurs, mais décomposent par influence le fluide neutre, en absorbant celui de nom contraire et en laissant l'autre en liberté, comme il a été expliqué au nº 10.

Si, préalablement, *m* (*fig.* 131) était électrisé positivement, et *n* négativement, les deux conducteurs, au lieu de faciliter le dégagement des atmosphères, agiraient par influence et tendraient au contraire à retenir les deux molécules en empêchant leur combinaison.

Imaginons maintenant deux corps d'une certaine étendue et assez bons conducteurs M et N, dont l'un soit électro-positif et l'autre électro-négatif. M est, par exemple, de l'oxyde de zinc, et N de l'acide sulfurique. Les molécules qui sont en présence à la surface de séparation s'attirent, et, par leur combinaison, forment un sel ; les atmosphères se répandent sur les deux corps qu'elles électrisent, M négativement, N positivement. Le sel se dissout, et de nouvelles molécules, se trouvant en contact, abandonnent également leurs atmosphères électriques aux deux corps.

Il arrive un moment où la tension électrique des corps M et N est assez grande pour retenir les molécules malgré l'affinité chimique qui tend à les réunir. La réaction s'arrête donc ; elle ne peut continuer que si on enlève les électricités positives et négatives de M et de N, en réunissant ces deux corps par un fil conducteur, et il se produit alors un courant continu d'électricité, dont nous avons étudié les propriétés.

Si le corps M n'est pas parfaitement homogène, et si en certains points il n'y a pas d'action chimique, les deux électricités répandues dans M et dans N se réunissent par ces points en formant de petits courants secondaires.

C'est pour cette raison que le zinc plongé dans l'acide sulfurique se

dissout sans qu'il soit nécessaire de former un circuit, lorsqu'il n'a pas été amalgamé préalablement.

Les réactions chimiques sont plus complexes quand il y a plus de deux éléments en présence, mais on peut également s'en rendre compte.

La décomposition des corps par les courants est une conséquence de l'hypothèse d'Ampère. Si l'on approche d'une molécule AB (*fig.* 131) formée de deux éléments, l'un A électro-positif et l'autre B électro-négatif, deux conducteurs *n* et *m* électrisés, *n* négativement et *m* positivement, et si l'attraction qu'exercent les fluides de ces deux conducteurs sur l'électricité propre des molécules A et B est supérieure à l'affinité chimique qui les réunit, elles se sépareront; la molécule A sera attirée par *n* et la molécule B par *m*.

n abandonne son électricité à A et *m* à B pour reconstituer les deux atmosphères de ces molécules.

Reportons-nous maintenant à la propagation de l'électricité dans un métal (nº 11); A, B, C et D (*fig.* 3) étant les molécules du corps conducteur, si l'on approche de A un corps M électrisé positivement, il décompose le fluide neutre de A, s'unit à l'électricité négative, et repousse l'électricité positive qui reconstitue, avec l'électricité négative de B, le fluide neutre; la même décomposition se produit dans toute l'étendue du corps conducteur.

Supposons maintenant que A, B, etc. soient les molécules d'un corps liquide, formé de deux éléments, d'eau par exemple. Le fluide neutre de chacune des molécules est formé par l'électricité négative que possède l'oxygène et par l'électricité positive de l'hydrogène. Le phénomène est analogue, mais il entraîne la décomposition des molécules d'eau; ainsi le fluide positif de M décompose A, s'unit à l'oxygène en lui formant une atmosphère électrique, et la molécule gazeuse, devenue libre, se dégage. L'hydrogène de A décompose B, reconstitue avec son oxygène une molécule d'eau, et repousse l'hydrogène qui agit de même sur C.

Quand on plonge dans un liquide deux fils reliés aux deux pôles d'une pile, la décomposition se produit, comme nous venons de l'indiquer, en sens contraire à partir des deux électrodes, et les bulles de gaz ne se dégagent pas dans l'intervalle des deux électrodes.

Si les liquides n'avaient aucune conductibilité qui leur fût propre, et que le fluide électrique ne pût les traverser qu'en produisant la décomposition des molécules, la quantité de matière réduite devrait être proportionnelle à la quantité d'électricité qui passe par le liquide, ou, en d'au-

tres termes, à l'intensité du courant. Cette loi est en effet une des lois fondamentales de l'électro-chimie.

On a trouvé, dans ces derniers temps, qu'elle n'est pas parfaitement exacte, et que les liquides, outre qu'ils transmettent l'électricité en se décomposant, en conduisent une petite fraction qui se propage comme dans les métaux.

Note 2. (*Voir n° 36.*)

PRINCIPES ÉLÉMENTAIRES DE CHIMIE.

Voici, pour les employés qui n'ont aucune notion de chimie, quelques principes élémentaires indispensables pour comprendre le jeu des différentes piles.

On nomme corps composés, les corps que l'on peut, par un procédé quelconque, décomposer en deux ou plusieurs substances ayant des propriétés différentes. Ainsi l'eau, qui, sous l'action de la pile, se décompose en oxygène et en hydrogène (n° 36), est un corps composé.

Les corps simples sont ceux qui, jusqu'à ce jour, ont résisté à tous les moyens employés pour les réduire.

Les corps simples, aujourd'hui connus, sont au nombre de soixante-deux ; on les divise en deux catégories : les métalloïdes et les métaux ; les principaux sont :

Métalloïdes. — Oxygène, hydrogène, azote, chlore, brôme, iode, soufre, phosphore, arsenic, carbone.

Métaux. — Potassium, sodium, baryum, calcium, magnésium, aluminium, manganèse, chrôme, fer, cobalt, nickel, zinc, cuivre, plomb, bismuth, mercure, étain, antimoine, argent, or, platine.

Tous les métaux, excepté le mercure, sont solides à la température ordinaire ; ils sont bons conducteurs de la chaleur et de l'électricité.

Les métalloïdes sont en général mauvais conducteurs ; ils se présentent sous différentes formes. L'oxygène, l'hydrogène, l'azote, le chlore,

sont des gaz; le brôme, l'iode, le soufre, le phosphore s'obtiennent, suivant la température, à l'état solide, liquide ou gazeux; le carbone est toujours solide.

La force qui réunit les molécules de deux corps pour former un composé, se nomme affinité chimique; deux corps ont d'autant plus de tendance à se combiner, et il est d'autant plus difficile de détruire leur combinaison que cette force est plus considérable.

Elle ne peut jamais s'exercer que si les molécules des corps ont un contact bien intime, ce qui exige que l'un d'eux au moins soit liquide ou gazeux.

La chaleur augmente l'affinité chimique pour certaines substances; elle la diminue au contraire pour d'autres.

La combinaison de deux corps est toujours accompagnée d'un dégagement de chaleur et d'électricité, souvent de lumière.

Les corps composés n'ont souvent aucune analogie avec les éléments qui les constituent; l'eau, par exemple, ne jouit d'aucune des propriétés physiques de l'oxygène et de l'hydrogène qui entrent dans sa composition.

Quand deux corps A et B se combinent, une molécule de A s'unit à 1, 2, 3 molécules de B, ou 2 molécules de A avec 3, 5, 7 molécules de B. Le rapport entre les nombres de molécules des deux corps est toujours un rapport simple, tel que 1, 2, 3, 2/3, etc. Ainsi deux corps ne se combinent pas dans des proportions quelconques, ils forment un petit nombre de composés qui contiennent les deux éléments dans des proportions parfaitement fixes et définies.

Si l'on met en présence d'un corps (AB), formé de deux éléments A et B, un second corps C, dont l'affinité chimique pour A soit plus grande que celle de B, le corps C se substituera dans la combinaison au corps B, qui, devenu libre, se dégagera si c'est un gaz ou se précipitera au fond du vase si c'est un solide.

Quelquefois l'affinité de C pour A n'est pas assez grande pour produire la réaction à la température ordinaire, mais elle peut avoir lieu si l'on chauffe fortement le composé AB, et le corps C.

L'oxygène est le corps dont les combinaisons avec tous les autres ont le plus d'importance; il constitue en partie l'air atmosphérique, et presque toutes les substances qu'on trouve dans la nature en contiennent.

Les combinaisons de l'oxygène avec les corps simples sont de trois espèces et se nomment acides, bases ou corps indifférents.

On nomme aussi oxydes les bases et les corps indifférents.

Les acides et les bases altèrent les matières organiques; les corps in-

différents n'ont aucune action. L'eau est un oxyde d'hydrogène qu'on peut classer parmi les corps indifférents.

Quand un corps forme avec l'oxygène plusieurs oxydes, pour les distinguer, on nomme protoxyde celui qui contient le moins d'oxygène; bioxyde, sesquioxyde, peroxyde, les suivants; et l'on ajoute le nom du corps qui forme la combinaison.

Ainsi le fer donne le protoxyde de fer, le peroxyde de fer; le zinc ne fournit qu'un oxyde de zinc; le cuivre donne le protoxyde de cuivre, le bioxyde de cuivre, etc.

Pour quelques oxydes on conserve le nom employé dans le commerce; la potasse est un oxyde de potassium, la soude un oxyde de sodium, la chaux un oxyde de calcium, etc.

Pour les acides, on termine en *ique* ou en *eux* le nom du corps qui forme l'acide; ainsi, le soufre donne l'acide sulfureux et l'acide sulfurique, l'azote, l'acide azoteux et l'acide azotique ou nitrique, l'arsenic, l'acide arsénieux, le carbone, l'acide carbonique, etc.

Quand il y a plus de deux acides, on fait précéder le nom des syllabes *hypo* ou *per;* la première indique un acide qui contient moins d'oxygène; la seconde un acide qui en contient davantage.

Le souffre, par exemple, forme avec l'oxygène les composés suivants: acide hyposulfureux, acide sulfureux, acide hyposulfurique et acide sulfurique, dont le premier contient le moins d'oxygène et le dernier en contient le plus.

Beaucoup de corps produisent en même temps des oxydes et des acides; mais les oxydes les plus énergiques résultent de la combinaison des métaux, et les acides de la combinaison des métalloïdes avec l'oxygène.

Tous les corps n'ont pas la même affinité pour l'oxygène; dans la liste précédente des corps simples, les métaux sont rangés dans l'ordre de leur affinité; celui qui a la plus grande est le potassium.

Pour les premiers métaux, le potassium, le sodium, etc., cette affinité est telle qu'ils ne peuvent rester en contact avec l'air sans se combiner immédiatement avec l'oxygène pour former des oxydes, aussi ne les obtient-on à l'état métallique qu'avec la plus grande difficulté. Ils décomposent l'eau à la température ordinaire, ils s'emparent de l'oxygène et mettent en liberté l'hydrogène qui se dégage.

Pour les suivants, le fer, le cobalt, le zinc, l'affinité pour l'oxygène est moins grande; à l'air ils s'altèrent lentement. Ils ne décomposent pas l'eau à la température ordinaire; mais, si on place de la limaille de fer dans un tube de porcelaine chauffé au rouge et si on fait passer un cou-

rant de vapeur d'eau, la décomposition se produit et on recueille de l'hydrogène et de l'oxyde de fer.

Le cuivre, l'or, etc., ne décomposent pas l'eau, même à une température élevée.

On nomme sel la combinaison d'un oxyde et d'un acide.

Pour le désigner, on change la terminaison *ique* de l'acide en *ate*, et la terminaison *eux* en *ite*, et l'on fait suivre du nom de l'oxyde; l'acide sulfurique produit avec l'oxyde de sodium ou la soude, le sulfate de soude; avec l'oxyde de zinc, le sulfate de zinc; avec l'oxyde de cuivre, le sulfate de cuivre, etc.

L'acide azotique donne de même l'azotate de zinc, l'azotate de cuivre, l'azotate d'argent, etc.

Le fer et le zinc ne décomposent pas l'eau à la température ordinaire; mais la réaction a lieu si, dans l'eau, on verse un acide avec lequel l'oxyde puisse former un sel.

Ainsi le zinc plongé dans de l'acide sulfurique étendu d'eau, forme, avec l'oxygène, de l'eau, de l'oxyde de zinc, qui, par sa combinaison avec l'acide sulfurique, produit du sulfate de zinc, et l'hydrogène se dégage.

Le fer, dans les mêmes conditions, donnerait du sulfate de fer et de l'hydrogène.

La même réaction ne se produirait pas avec le cuivre et les métaux suivants, dont l'affinité pour l'oxygène est moindre.

Quand un sel est en dissolution, si l'on met dans le vase qui le contient un métal dont l'affinité pour l'oxygène soit plus grande que celle du métal que contient le sel, il y a substitution; un nouveau sel se forme, et le métal du premier devenu libre se dépose.

Le zinc et le fer, par exemple, ont pour l'oxygène une affinité plus grande que le cuivre; si donc, dans une dissolution de sulfate de cuivre, on place du zinc, le cuivre se déposera au fond du vase, et il restera dans la liqueur du sulfate de zinc.

C'est sur cette propriété qu'est fondée la pile Daniell.

L'oxygène n'est pas le seul corps dont les combinaisons produisent des acides et des oxydes; l'hydrogène et le chlore donnent l'acide chlorhydrique qui agit avec une énergie semblable à celle de l'acide sulfurique et de l'acide azotique; l'hydrogène et l'azote forment par leur combinaison un corps connu sous le nom d'ammoniaque, qui est une base puissante.

Note 3. (*Voir n° 43.*)

GALVANOMÈTRES ET BOUSSOLES.

Quand on veut savoir si un conducteur est traversé par un courant, on place dans le circuit un instrument au moyen duquel l'une des propriétés du courant puisse se manifester, un vase rempli d'eau, semblable à celui de la figure 16 (voltamètre), la bobine d'un électro-aimant, ou enfin un galvanomètre. Le passage du courant se manifeste, dans le premier cas, par le dégagement de bulles d'oxygène et d'hydrogène; dans le second, par l'aimantation du fer doux; dans le troisième, par la déviation de l'aiguille. Les galvanomètres sont ordinairement préférés, comme étant d'un emploi commode.

L'action du courant sur l'aiguille étant proportionnelle au nombre de tours du fil sur le cadre, on rend la sensibilité plus grande en augmentant ce nombre de tours; mais, comme on diminue en même temps l'intensité du courant à cause de la résistance qu'on introduit, il y a une certaine limite pour laquelle l'effet produit est maximum. Cette limite est la même que pour les électro-aimants (n° 76); ainsi, pour avoir la plus grande déviation possible de l'aiguille, il faut que la résistance du fil qui entoure le galvanomètre soit égale à celle de tout le conducteur, en y comprenant la pile. On ne cherche pas à remplir cette condition quand le courant qu'on veut observer doit être assez intense pour faire dévier l'aiguille, même quand le nombre de tours est peu considérable.

Pour reconnaître des courants d'une très-faible intensité, on ajoute au-dessus du cadre une seconde aiguille pareille à la première, et dont les pôles sont placés en sens contraire (*fig.* 26). Les deux aiguilles sont suspendues au même fil.

Lorsqu'on veut comparer deux courants qui ont à peu près la même intensité, on emploie souvent un galvanomètre dont le cadre est entouré de deux fils exactement semblables, enroulés un même nombre de fois (galvanomètre différentiel); on met ces deux fils dans les deux circuits, de façon que les courants circulent en sens contraire. Si l'aiguille ne dévie pas, on en conclut qu'ils ont la même intensité; si, au contraire, elle ne reste pas en équilibre, le sens de la déviation indique le courant le plus intense.

Quand on fait passer successivement, dans un galvanomètre, deux courants, les intensités ne sont pas proportionnelles aux angles de déviation.

Pour graduer un galvanomètre on peut employer la méthode suivante :

On déroule le fil qui entoure le cadre et on lui fait faire un seul tour; on le fait traverser par un courant et l'on marque 1 au point où s'arrête l'aiguille. On enroule un second tour; le même courant traversant le fil, son action sur l'aiguille est double; on marque 2 au nouveau point d'arrêt. On répète la même expérience en enroulant un troisième tour, un quatrième, etc.

On reconnaît ainsi que, quand les déviations ne dépassent pas 15°, les intensités sont sensiblement proportionnelles aux angles. A partir de 15°, à mesure que l'intensité augmente la déviation augmente, mais beaucoup plus lentement; elle ne peut jamais dépasser 90°.

On peut du reste s'en rendre compte en analysant l'action de la terre et celle du cadre sur l'aiguille.

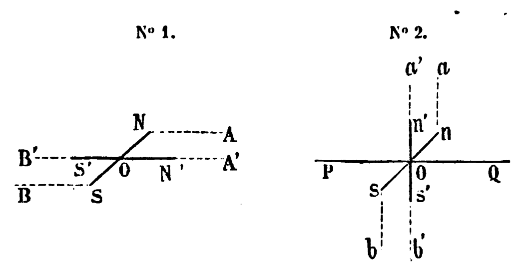


Fig. 132.

1° Une aiguille aimantée NS (*fig.* 132, n° 1), dont le centre O est fixe, tend à prendre, en vertu de l'action magnétique de la terre, une direction constante B'S'ON'A'. Cette action se réduit donc à deux forces, NA et SB, appliquées aux deux pôles de l'aiguille, et dont la direction commune est celle de l'axe magnétique B'S'ON'A'.

A cause de la distance des pôles de la terre, la force NA, qui agit sur l'aiguille pour la ramener suivant ON'A', est la même, quel que soit l'angle qu'elle forme avec la ligne S'ON'.

2° Une aiguille aimantée *ns* (*fig.* 132, n° 2), dont le centre est fixé au milieu d'un cadre projeté en PQ, autour duquel circule le courant, se

placerait, si l'action de la terre était nulle, suivant la direction *n's'*, normale au cadre. Ainsi, le cadre produit l'effet de deux forces *na* et *sb*, perpendiculaires à son plan.

La force *na* est proportionnelle à l'intensité du courant, mais elle n'est pas indépendante de la position de l'aiguille par rapport ou cadre, elle diminue quand la distance des pôles *n* et *s* à la ligne PQ augmente; elle a sa plus grande valeur quand l'aiguille est dans le plan même du cadre.

Considérons maintenant un galvanomètre (*fig.* 133). PQ est le cadre

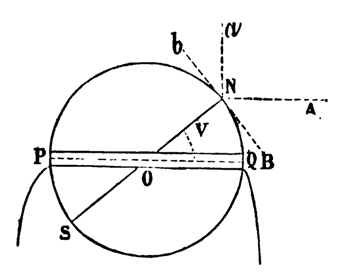


Fig. 133.

dont la direction est celle du méridien magnétique. Quand le courant circule dans le fil, l'aiguille prend une certaine position NS ; elle est soumise à deux forces, dont l'une NA, parallèle au cadre PQ, est l'action directrice de la terre ; l'autre N*a*, provenant du courant, est perpendiculaire à PQ.

L'aiguille reste en repos quand ces deux forces se font équilibre, et, pour que cette condition soit remplie, il faut que les deux composantes suivant la tangente *b*NB soient égales.

En nommant A et *a* ces deux forces, et V l'angle de déviation NOQ, les deux composantes sont A sin.V et A cos.V, ce qui donne l'équation $A \sin.V = a \cos.V$.

La force A est constante ; la force *a* est proportionnelle au courant, mais elle dépend aussi de la distance du pôle de l'aiguille au cadre.

Quand le cadre a de grandes dimensions, et que l'aiguille est très-petite, on peut regarder cette distance comme constante, alors la force *a* est uniquement proportionnelle à l'intensité du courant, et peut se re-

présenter par $i \times k$; k dépendant seulement du nombre de tours et de la forme du galvanomètre. La formule devient :

$$A \sin. V = i \times k \cos. V,$$

ou

$$i = \frac{A}{k} \text{tg.} V.$$

Dans ce cas l'intensité est donc proportionnelle à la tangente de l'angle de la déviation.

La boussole de tangente, fondée sur ce principe, est formée d'un grand anneau circulaire, de 4 à 5 décimètres de diamètre, autour duquel on enroule le fil conducteur, et d'une petite aiguille massive suspendue au centre avec un fil de cocon.

Pour la boussole de sinus (n° 43), le cadre est mobile, et on lui fait suivre l'aiguille jusqu'à ce qu'elle s'arrête dans son plan.

PQ (*fig.* 134), étant le cadre dans sa position normale, quand on fait

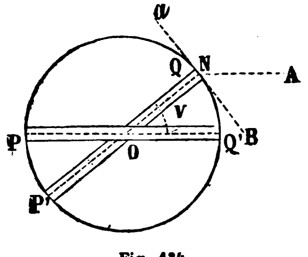


Fig. 134.

l'opération, il arrive un moment où l'aiguille se trouve en repos dans son nouveau plan P'Q'.

Le pôle N de l'aiguille est soumis à deux forces : la première, NA, parallèle à la direction de l'axe magnétique PQ ; la seconde, N*a*, perpendiculaire au cadre P'Q'.

La force N*a* est indépendante de l'angle de déviation V, puisque l'aiguille a toujours la même position par rapport au cadre ; elle peut se représenter par $i \times k$, i étant l'intensité du courant et k une constante ; pour qu'il y ait équilibre, il faut que la composante de la force A, suivant la tangente NB, soit égale à N*a*, ce qui donne l'équation

$$A \sin. V = i \times k,$$

ou

$$i = \frac{A}{k} \sin. V.$$

L'intensité du courant est proportionnelle au sinus de l'angle de déviation.

Quand l'intensité augmente, l'angle V croît jusqu'à 90°, et pour cette limite on a : $i = \frac{A}{k}$; si l'intensité a une plus grande valeur, l'aiguille ne peut jamais s'arrêter dans le plan du cadre.

Les constantes A et k sont proportionnelles à la force magnétique développée dans l'aiguille ; il en résulte que, pour les boussoles de tangente et de sinus, la déviation est indépendante de cette force ; ainsi une aiguille peu aimantée, placée au centre d'un galvanomètre, donne la même déviation qu'une aiguille fortement aimantée, mais son mouvement est moins rapide.

On comprend en effet que, si d'une part le courant agit avec moins d'énergie sur l'aiguille, d'un autre côté elle est sollicitée avec moins de force par le magnétisme terrestre.

Quand on fait usage d'une boussole pour mesurer l'intensité d'un courant, il faut toujours tenir compte de l'introduction dans le circuit du fil qui entoure le cadre, qui, en augmentant la résistance, peut diminuer notablement l'intensité. Dans la plupart des expériences qu'on fait dans les bureaux télégraphiques, la résistance extérieure est assez grande pour qu'on n'ait pas à tenir compte de celle du fil du galvanomètre.

Une boussole ne peut servir qu'à comparer deux courants, elle ne donne pas la valeur absolue de leur intensité ; ainsi, la force d'un courant, exprimée par un nombre de degrés, ne peut avoir aucune signification, si l'on n'indique pas exactement la forme du galvanomètre, sa nature et surtout le nombre de tours du fil sur le cadre.

C'est seulement avec ces données qu'on peut à peu près se faire une idée de l'intensité, et encore la construction des galvanomètres ne peut jamais être assez identique pour qu'on puisse, dans des expériences délicates, reproduire le même courant d'après ces seules indications.

Note 4. (*Voir n° 54.*)

LOIS SUR L'INTENSITÉ DES COURANTS.

Ces lois ont été trouvées expérimentalement par M. Pouillet.

Nous avons vu (n° 51) comment on démontre que deux conducteurs offrent au courant la même résistance, quand le rapport de leur section au produit de leur longueur par leur conductibilité est le même, et comment on peut déterminer la longueur réduite d'une portion de circuit, en la remplaçant par un rhéostat et en faisant varier la longueur du fil conducteur jusqu'à ce qu'on obtienne la même intensité de courant.

Il nous reste à dire comment on est arrivé aux deux lois qui concernent l'intensité des courants :

1° L'intensité est inversement proportionnelle à la résistance ou longueur réduite de tout le circuit en y comprenant la pile;

2° Elle est proportionnelle à la somme des forces électro-motrices.

Pour étudier l'influence du conducteur, on réunit les deux pôles d'un élément voltaïque par un fil métallique en plaçant dans le circuit une boussole (M. Pouillet s'est servi de la boussole de tangente).

Représentons par I l'intensité du courant, et par a la résistance extérieure à la pile. On fait varier cette résistance en ajoutant des conducteurs supplémentaires; soient b, c, d, les nouvelles résistances, et I_1, I_2, I_3, les intensités observées avec la boussole : on trouve qu'en ajoutant aux nombres a, b, c et d une quantité constante m, les nombres I, I_1, I_2, I_3, qui mesurent les intensités, sont proportionnels aux nombres $\frac{1}{m+a}$, $\frac{1}{m+b}$, $\frac{1}{m+c}$ et $\frac{1}{m+d}$. Les intensités sont donc inversement proportionnelles aux résistances a, b, c et d, auxquelles il faut ajouter une résistance constante.

La quantité additionnelle m tient uniquement à la pile, car, si on prend deux éléments au lieu d'un seul, elle devient $2m$; pour trois éléments $3m$, et ainsi de suite.

On peut du reste déterminer, par une expérience directe, la résistance des éléments de la pile. On retourne deux couples, de façon que les deux

pôles semblables soient en contact, les deux forces électro-motrices se neutralisent, et si les éléments sont exactement pareils ils ne produisent aucun courant. En introduisant dans un nouveau circuit ces deux éléments, on ne change pas la source électrique, mais on ajoute une résistance qu'on peut déterminer avec le rhéostat comme pour un conducteur ordinaire; on trouve qu'elle est précisément égale à la quantité $2m$, qu'il fallait ajouter aux résistances extérieures pour rendre les intensités proportionnelles aux longueurs réduites.

En faisant varier la dimension des éléments, la valeur de m change; elle est inversement proportionnelle à leur étendue, et dépend de la conductibilité des corps qui forment la pile.

On trouve la seconde loi en faisant varier le nombre d'éléments, la résistance extérieure restant constante. Soient I_1, I_2, I_3 et I_4 les intensités observées quand on fait agir sur un conducteur de résistance égale à a, un, deux, trois ou quatre éléments pareils; les nombres I_1, I_2, I_3 et I_4 sont proportionnels aux expressions

$$\frac{1}{m+a}, \quad \frac{2}{2m+a}, \quad \frac{3}{3m+a}, \quad \frac{4}{4m+a},$$

m étant la résistance de chaque élément. Les intensités sont donc proportionnelles aux nombres des éléments de la pile.

On arrive plus simplement encore à la même loi avec trois éléments; en retournant l'un des trois, on détruit l'effet de l'un des deux autres, et il ne reste dans le circuit qu'un seul élément qui produit un courant, dont la boussole permet de mesurer l'intensité. On replace alors les trois éléments dans l'état ordinaire, et l'on trouve une intensité triple; comme la résistance est la même dans les deux cas, on en conclut encore que l'intensité est proportionnelle au nombre des éléments.

Ainsi, en désignant par n le nombre d'éléments, par r la résistance de chacun d'eux, et par r' la résistance extérieure, on peut représenter l'intensité du courant par la formule $I = \frac{n}{nr + r'} = \frac{n}{R}$, en nommant R la résistance totale.

Supposons maintenant qu'on prenne d'autres éléments de pile (les premiers étant des éléments Daniell, les autres seront, par exemple, des éléments Bunsen) et que l'on place dans un circuit le même nombre n de ces nouveaux éléments; si la résistance totale est la même et égale à R, l'intensité aura encore pour expression

$$I' = \frac{n}{R}.$$

Elle ne sera pas la même que dans le premier cas.

Pour que la formule puisse représenter l'intensité d'une manière générale, il faut donc multiplier le numérateur par un facteur dépendant de la source électrique ; c'est ce facteur qui représente la force électro-motrice, en la désignant par e pour chaque élément; la formule devient

$$I = \frac{ne}{R}.$$

Bien qu'on ne connaisse pas la véritable origine des sources électro-motrices, rien n'empêche de les comparer par les intensités des courants qu'elles produisent, de même que l'on compare entre elles des sources calorifiques par les températures qu'elles donnent, les sources lumineuses par la lumière qu'elles projettent, etc. (*Voir* note 5.)

Lorsque plusieurs piles différentes se trouvent dans le même circuit, e, e_1, e_2, etc., étant les forces électro-motrices correspondantes à chaque nature d'éléments, r, r_1, r_2 leurs résistances, et r' la résistance extérieure aux piles, on trouve de la même manière que l'intensité du courant a pour expression

$$I = \frac{ne + n_1e_1 + n_2e_2}{r' + nr + n_1r_1 + n_2r_2}$$

ou plus généralement $I = \frac{E}{R}$ en nommant E la somme de toutes les forces électro-motrices, et R la résistance totale du circuit.

Ces lois sont soumises à quelques exceptions quand on fait varier dans de grandes limites l'intensité du courant, surtout lorsque le circuit comprend des liquides; mais, dans toutes les applications relatives à la télégraphie électrique, on peut les considérer comme suffisamment exactes.

La force électro-motrice e ne dépend pas de l'étendue des éléments, mais seulement des corps dont ils sont composés, de sorte que leur dimension n'entre dans le calcul de l'intensité que par leur résistance qui diminue proportionnellement à leur surface.

M. Ohm avait été conduit aux deux mêmes lois par des considérations purement théoriques que nous allons exposer en quelques mots.

Quand une source électro-motrice agit sur un circuit, l'électricité se répand dans le conducteur, et, au bout d'un moment très-court, il s'établit un mouvement continu et permanent du fluide, qui dure tant que

la force électro-motrice reste constante, et constitue une sorte d'équilibre dynamique.

Quelle que soit la manière dont on envisage la transmission de l'électricité d'un pôle à l'autre de la pile, cet équilibre ne peut exister qu'à la condition que chaque molécule du conducteur reçoive d'un côté autant d'électricité qu'elle en perd de l'autre, ce qui implique en premier lieu l'égalité de l'intensité à tous les points d'un même circuit.

L'état électrique, aux différents points d'un conducteur, ne peut être le même, car il n'y aurait aucune cause de mouvement; il varie d'une manière continue pour chaque partie homogène du circuit et constitue la tension. Il est évident du reste que, pour chacun des points, il reste constant tant que le courant ne change pas d'intensité.

Si l'on électrise tout le circuit en le mettant sur un plateau en communication avec une machine électrique, la tension augmente d'une quantité égale pour tous les points, mais il existe toujours entre eux la même différence de tension.

Le phénomène est analogue à la transmission de la chaleur à travers un mur maintenu des deux côtés, à des températures différentes.

M. Ohm est parti de deux lois fondamentales, dont l'une est la conséquence de l'analogie qui existe entre la transmission de l'électricité dans un circuit et celle de la chaleur : la quantité d'électricité qui passe d'un point à un autre, infiniment rapproché, est proportionnelle à la différence de tension électrique de ces deux points.

La seconde, empruntée à la théorie de Volta, concerne les sources électro-motrices : quand deux corps donnent lieu par leur contact à un dégagement d'électricité, la différence de tension des deux côtés de la surface de contact est indépendante de l'état électrique du circuit.

Cela posé, supposons, en premier lieu, le cas (irréalisable dans la pratique) d'un circuit homogène, formé d'un seul corps, une force électro-motrice existant en un point du conducteur.

Soit AB (*fig.* 135) le circuit développé ; A et B correspondant au même point du conducteur, celui auquel se trouve la force électro-motrice.

Représentons par BF et AE les tensions aux points A et B, dont on connait seulement la différence FG qui représente la force électro-motrice e.

D'après le premier principe, admis par M. Ohm, chaque molécule du conducteur AB abandonne à la suivante une quantité d'électricité proportionnelle à la différence des tensions que possèdent les deux molécules; il en résulte que, si l'équilibre dynamique défini plus haut existe, la tension le long du conducteur doit croître régulièrement depuis A jus-

qu'en B; si l'on réunit par une ligne droite E et F, la tension en chaque point sera représentée par l'ordonnée de la ligne EF.

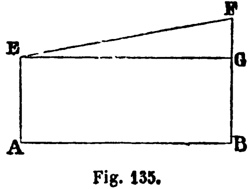


Fig. 135.

Nous avons supposé que les longueurs AE et BF représentaient les tensions aux deux points A et B; mais la seule chose qu'il soit réellement utile de connaître est la différence FG, et, par suite, l'inclinaison de la ligne EF.

Quant à la position de l'axe des x, elle dépend de la valeur absolue de la tension en un point du circuit. Si, par exemple, il est complétement isolé, les tensions en A et en B seront égales et de signe contraire, l'axe des x passera au milieu de la ligne EF; si, en un point quelconque, le conducteur est en communication avec la terre, sa tension sera nulle, et l'axe des x passera par ce point. Cette donnée n'est pas du reste nécessaire pour déterminer la quantité d'électricité que traverse chaque section du conducteur, ou, en d'autres termes, l'intensité du courant.

Cette intensité est proportionnelle à la section de AB, car si cette section était double, tout se passerait comme s'il y avait deux circuits pareils juxtaposés, et la quantité d'électricité en circulation serait double.

Elle dépend en outre de la nature du corps qui forme le conducteur; en désignant par k la conductibilité et par s la section, l'intensité est proportionnelle au produit ks.

Enfin, elle est proportionnelle à la différence des tensions de deux molécules voisines, laquelle différence se mesure par la tangente de l'angle EFG ou par le rapport $\frac{FG}{EG}$ ou $\frac{e}{l}$, e représentant la différence de tension ou la force électro-motrice FG, et l la longueur AB. On a donc pour l'expression de l'intensité

$$I = k.s \times \frac{e}{l} \quad \text{ou} \quad I = \frac{e}{\frac{l}{ks}}.$$

Ce qui précède s'applique également à toute portion homogène d'un circuit quelconque dans laquelle e représente la différence de tension entre deux points, l la distance des deux points, k et s la conductibilité et la section du conducteur.

Considérons maintenant un circuit composé de deux conducteurs AB et BC (*fig.* 136), développé suivant la ligne ABC ; aux deux points AC

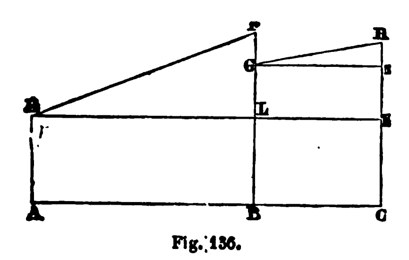


Fig. 136.

et B il existe deux forces électro-motrices e et e'. La tension suivant les deux conducteurs peut se représenter par deux lignes droites EF et GH, mais on connait seulement dans la figure les différences de tension

$$CH - AE = HK = e, \text{ et } FB - GB = FG = e'.$$

L'intensité du courant qui traverse le conducteur AB a pour expression $I = \frac{FL}{\frac{l}{sk}}$, ce qui donne l'équation $FL = I \times \frac{l}{sk}$, l, s et k étant la longueur, la section et la conductibilité de la portion AB du circuit.

De même, l'intensité du courant suivant BC est $I = \frac{MH}{\frac{e'}{s'k'}}$, qui fournit la deuxième équation $MH = I \times \frac{l'}{s'k'}$, l', k', s' représentant la longueur, la section et la conductibilité de BC. L'intensité étant la même sur les deux conducteurs, puisqu'ils font partie du même circuit, on déduit de ces deux équations

$$FL + MH = I\left(\frac{l}{sk} + \frac{l'}{s'k'}\right),$$

or, d'après la figure,

$$FL + MH = FG + HK = e + e',$$

on est donc conduit à l'équation :

$$e + e' = I\left(\frac{l}{sk} + \frac{l'}{s'k'}\right) \text{ ou } I = \frac{e + e'}{\frac{l}{sk} + \frac{l'}{s'k'}}.$$

Si, au lieu de deux conducteurs il y en avait un plus grand nombre, on arriverait par la même méthode à l'équation

$$I = \frac{e + e' + e''}{\frac{l}{sk} + \frac{l'}{s'k'} + \frac{l''}{s''k''}},$$

qui est l'expression analytique de la loi sur l'intensité des courants, les corps qui constituent la pile entrant dans la formule comme les conducteurs extérieurs ; les forces électro-motrices e, e', peuvent d'ailleurs être positives ou négatives, suivant que la tension aux deux surfaces de contact augmente ou diminue.

Note 5. (*Voir n° 54.*)

COMPARAISON DES RÉSISTANCES ET DES FORCES ÉLECTRO-MOTRICES DES PILES.

L'intensité du courant produit par une pile composée de n éléments sur un circuit de résistance égale à R a pour expression

$$I = \frac{nf}{nr + R},$$

en nommant f la force électro-motrice et r la résistance de chaque élément.

Pour calculer la valeur de r, on fait agir sur un circuit dont on a préalablement déterminé la résistance R, à l'aide du rhéostat (*voir* n° 52), l'élément qu'on soumet à l'expérience, et avec une boussole on détermine l'intensité I du courant.

$$I = \frac{f}{r + R}.$$

On remplace alors le circuit par un autre d'une résistance différente R'. L'intensité du courant mesurée avec la même boussole est :

$$I' = \frac{f}{r + R'}.$$

En prenant le rapport et en nommant a la fraction $\frac{I}{I'}$,

$$a = \frac{r + R'}{r + R}$$

$$r = \frac{R' - aR}{a - 1}$$

Il est souvent préférable de prendre deux éléments exactement pareils dont on réunit les deux pôles semblables pour que les deux forces électro-motrices se détruisent. On place ces deux éléments dont l'assemblage ne produit aucun courant dans un circuit muni d'un galvanomètre et d'une autre pile, et on détermine leur résistance comme pour les conducteurs ordinaires en les remplaçant par le fil d'un rhéostat.

Pour comparer les forces électro-motrices de deux piles différentes, on suit une marche analogue.

Un premier élément étant placé dans un circuit de résistance R donne un courant dont l'intensité est

$$I = \frac{f}{r + R}.$$

Pour un second élément agissant sur un autre circuit R′, on a :

$$I' = \frac{f'}{r' + R'}.$$

On peut faire varier la résistance extérieure R′ à l'aide du rhéostat, de façon à obtenir la même intensité de courant qu'avec le premier élément, et les deux équations deviennent :

$$f = I\,(r + R)$$
$$f' = I\,(r' + R')$$

Pour un troisième, en procédant de la même manière, on aurait :

$$f'' = I\,(r'' + R'').$$

Ainsi les forces électro-motrices sont proportionnelles aux résistances $r + R$, $r' + R'$, $r'' + R''$, qu'on détermine avec le rhéostat.

On peut aussi procéder de la manière suivante :

On prend un certain nombre d'éléments parfaitement semblables dont on forme une pile qui sert à comparer les différentes forces électro-motrices. A cet effet, on place dans le même circuit cette pile et

l'élément dont on veut avoir la force électro-motrice, mais en les disposant de façon que les deux courants marchent en sens contraire.

Il n'y aura aucun courant si la force électro-motrice de la pile et celle de l'élément sont égales. En désignant par e la force électro-motrice de chacun des couples dont est composée la pile, et par f celle de l'élément dont on cherche la valeur, on aura l'équation :

$$f = ne.$$

Pour trouver le nombre n il suffit d'ajouter ou de retrancher des éléments à la grande pile jusqu'à ce que le galvanomètre n'indique aucun courant.

Si on répète la même expérience pour un élément d'une autre espèce, on aura

$$f' = n'e;$$

pour un 3e,

$$f'' = n''e.$$

Ainsi les forces électro-motrices f, f', f'' sont entre elles comme les nombres n, n', n'' des éléments de la pile qui sert à l'expérience.

Voici quelques résultats numériques relatifs aux piles employées en télégraphie :

1° Elément Bunsen ordinaire bien préparé de

$$f = 55{,}60, \qquad r = 0^{k}{,}13, \qquad I = 427;$$

2° Le même, quinze jours après sa préparation et sans aucun changement de liquide,

$$f = 28{,}80, \qquad r = 2^{k}{,}07, \qquad I = 14;$$

3° Élément Daniell ordinaire de $0^{m}{,}15$ de hauteur avec sulfate de cuivre et eau pure,

$$f = 66, \qquad r = 0^{k}{,}80, \qquad I = 85.$$

L'unité de résistance est le kilomètre de fil de fer de 4 millimètres de diamètre. L'intensité $I = \frac{f}{r}$, est l'intensité qu'on obtiendrait en réunissant directement les deux pôles.

Quant aux forces électro-motrices, les nombres qui les représentent ne servent qu'à exprimer les rapports qui existent entre elles. Il reste en effet à fixer une unité ou à indiquer l'intensité du courant que produit l'élément pris pour terme de comparaison avec une résistance connue.

Supposons qu'on se serve pour comparer les courants d'une boussole ayant douze tours de fil autour de l'aiguille aimantée ; on peut admettre

qu'un élément Daniell ordinaire de $0^m,15$ de hauteur fait dévier l'aiguille de 1° si la résistance extérieure est de 110 kilomètres de fil de 4 millimètres. Ainsi :

$$\frac{f}{110+0,8}=1,$$

on a à peu près

$$f=110.$$

Si l'on réunit directement les deux pôles, l'intensité du courant est donc :

$$I=\frac{f}{0,8}=137,$$

l'unité étant le courant qui fait dévier d'un degré l'aiguille d'une boussole ayant 12 tours de fil.

Une pile Daniell, composée de n éléments et agissant sur un circuit de résistance égale à R, donnera un courant d'intensité égale à

$$\frac{n\times 110}{n\times 0,80+R}.$$

Un appareil télégraphique ordinaire ayant une bobine de résistance égale à 200 kilom. peut généralement fonctionner avec une intensité de courant égale à 5° ; mais pour avoir une transmission bien nette, il faut compter sur une intensité de 7 ou 8° mesurée à la boussole de sinus ayant 12 tours de fil.

D'après ces données on peut déterminer la distance à laquelle on peut correspondre avec une pile donnée, ou réciproquement, le nombre d'éléments qu'il faut employer pour la transmission quand la distance est connue.

Il suffit de poser l'équation :

$$\frac{n\times 110}{n\times 0,80+200+x}=8,$$

n étant le nombre d'éléments et x la longueur de la ligne.

Pour $n=80,$ $x=892.$

Avec 80 éléments on peut donc correspondre à une distance de 892 kilomètres.

Dans la pratique il existe toujours sur les lignes des dérivations qui modifient l'intensité du courant, aussi atteint-on difficilement cette limite.

Note 6. (*Voir n° 55.*)

SUR LA FORME LA PLUS CONVENABLE A DONNER AUX PILES.

Soit n le nombre d'éléments dont une pile est composée, f la force électro-motrice de chaque élément qui dépend uniquement de la nature des surfaces en contact, k la conductibilité des liquides contenus dans la pile, d la distance des plaques de cuivre et de zinc, et s l'étendue de chaque élément, enfin R la résistance du circuit extérieur à la pile.

La résistance de chaque élément est

$$\frac{d}{sk}$$

et celle de toute la pile,

$$r = \frac{nd}{sk}.$$

La résistance de tout le circuit est $R + r$, et l'intensité du courant

$$I = \frac{nf}{R + r},$$

ou

$$I = \frac{nf}{R + \frac{nd}{sk}}.$$

Si R est très-grand par rapport à $\frac{nd}{sk}$, on a sensiblement

$$I = \frac{nf}{R},$$

l'intensité est alors proportionnelle au nombre des éléments et ne dépend pas de leurs dimensions.

Si au contraire R est très-petit et peut être négligé devant la résistance de la pile, on a

$$I = \frac{fsk}{d}.$$

L'intensité est dans ce cas indépendante du nombre des éléments; elle est proportionnelle à leur étendue.

Supposons maintenant qu'on ait une certaine étendue de zinc qu'on puisse découper de façon à former des éléments de pile et cherchons la dimension qu'il faut leur donner pour obtenir la plus grande intensité possible de courant.

Soit a cette surface.

S'il n'y avait qu'un seul élément la résistance serait

$$\frac{d}{ak}.$$

S'il y a deux éléments, la surface de chacun sera moitié moindre, la résistance sera

$$\frac{2d}{ak}.$$

Pour n éléments, la résistance de chacun sera

$$\frac{nd}{ak}$$

et la résistance de toute la pile,

$$r = \frac{n^2 d}{ak}.$$

R étant encore la résistance extérieure, et f la force électro-motrice, l'intensité sera

$$I = \frac{nf}{R + n^2 \frac{d}{ak}}.$$

Lorsqu'on fait varier n, la valeur de I change, mais elle ne peut jamais dépasser une certaine limite.

Une expression telle que $\frac{x}{p + qx^2}$ dans laquelle x est la seule variable est maximum lorsque $p = qx^2$.

I aura donc sa plus grande valeur lorsque la condition

$$R = \frac{n^2 d}{ak};$$

ou

$$R = r$$

sera remplie.

Ainsi la résistance de la pile entière doit être égale à celle de toute la portion du circuit extérieur.

Pour former les piles locales (*voir* n° 82) on est souvent forcé d'accoupler plusieurs éléments de petite dimension; ce qui précède peut servir à déterminer la combinaison la plus favorable.

r_1 étant la résistance de chaque élément, et n le nombre des éléments dont on peut disposer, la résistance de toute la pile sera nr_1, s'ils sont tous placés à la suite les uns des autres comme dans la fig. 63.

S'ils sont divisés en deux groupes dont les pôles semblables sont réunis, la résistance de la pile entière sera $\frac{nr_1}{4}$; s'ils sont divisés en trois groupes $\frac{nr_1}{9}$; et enfin s'il y a p groupes, $\frac{nr_1}{p^2}$.

R étant la résistance extérieure, on doit avoir, d'après ce qui précède, pour obtenir le plus grand effet possible,

$$R = \frac{nr_1}{p^2} \text{ ou } p = \sqrt{\frac{nr_1}{R}}.$$

Supposons, par exemple, qu'on emploie 20 éléments Daniell ordinaires, ayant chacun 1 kilomètre de résistance en prenant pour unité le fil de fer de 4 millimètres de diamètre; on aura :

$$p = \sqrt{\frac{20}{R}}.$$

Quand la résistance extérieure R est égale à 20 kilomètres, la formule donne $p = 1$. La disposition la plus favorable est donc celle des piles ordinaires pour lesquelles tous les éléments sont placés sur un seul rang.

Pour $R = 5$ kilomètres $p = 2$; on formera dans ce cas deux piles de 10 éléments dont on réunira les pôles semblables.

Pour $R = 2$, on trouve $p = 3$
$R = 1$, $p = 4$
$R = \frac{1}{2}$, $p = 6$, etc.

Note 7. (*Voir n°* 56.)

SUR LES COURANTS DÉRIVÉS.

1° Désignons (*fig.* 37) par l la longueur réduite de ACB, et par l_1 celle de ADB. On peut remplacer le premier conducteur par un fil de lon-

gueur égale à 1 et de section égale à $\frac{1}{l}$, le second par un fil de même longueur et de section $\frac{1}{l_1}$. La résistance des deux fils réunis est la même que celle d'un fil unique de longueur égale à l'unité, et dont la section serait $\frac{1}{l}+\frac{1}{l_1}$, ou d'un fil ayant pour section l'unité de surface et pour longueur $\frac{ll_1}{l+l_1}$. La fraction $\frac{ll_1}{l+l_1}$ représente donc la longueur réduite de la portion du circuit qui comprend les deux conducteurs ACB et ADB.

Si R est la résistance totale APGB (en comprenant celle de la pile et du galvanomètre), la longueur réduite de tout le circuit sera

$$R+\frac{ll_1}{l+l_1}.$$

L'intensité du courant suivant APB :

$$I=\frac{F}{R+\frac{ll_1}{l+l_1}}=\frac{F(l+l_1)}{R(l+l_1)+ll_1},$$

suivant ACB :

$$I_0=I\times\frac{l_1}{l+l_1}=\frac{Fl_1}{R(l+l_1)+ll_1},$$

suivant ADB :

$$I_1=I\times\frac{l}{l+l_1}=\frac{Fl}{R(l+l_1)+ll_1}.$$

Sans connaître la force électro-motrice F on peut comparer ces intensités avec celle que donne la même pile pour une résistance connue de circuit.

Ainsi si la dérivation ADB n'existait pas, l'intensité du courant serait $I'=\frac{F}{R+l}$, en prenant les rapports $\frac{I}{I'}$, $\frac{I_0}{I'}$ et $\frac{I_1}{I'}$, le terme F disparaît et on obtient le rapport entre les intensités en remplaçant les lettres R, l_0 et l_1 par les nombres qu'elles représentent.

2° Soit (*fig.* 38) :

l_0 la longueur réduite de ACB
l_1 — — ADB
l_2 — — AEB
l_3 — — AFB

Ces quatre fils peuvent se remplacer par un fil unique de longueur égale à 1 et de section

$$\frac{1}{l_0}+\frac{1}{l_1}+\frac{1}{l_2}+\frac{1}{l_3},$$

ou de longueur réduite

$$\frac{1}{\frac{1}{l_0}+\frac{1}{l_1}+\frac{1}{l_2}+\frac{1}{l_3}}.$$

L'intensité générale du courant (suivant APGB), si R représente la résistance APGB et F la force électro-motrice de la pile, est :

$$I=\frac{F}{R+\frac{1}{\frac{1}{l_0}+\frac{1}{l_1}+\frac{1}{l_2}+\frac{1}{l_3}}},$$

suivant ACB,

$$I_0=I\times\frac{\frac{1}{l_0}}{\frac{1}{l_0}+\frac{1}{l_1}+\frac{1}{l_2}+\frac{1}{l_3}},$$

suivant ADB,

$$I_1=I\times\frac{\frac{1}{l_1}}{\frac{1}{l_0}+\frac{1}{l_1}+\frac{1}{l_2}+\frac{1}{l_3}},$$

suivant AEB,

$$I_2=I\times\frac{\frac{1}{l_2}}{\frac{1}{l_0}+\frac{1}{l_1}+\frac{1}{l_2}+\frac{1}{l_3}},$$

et suivant AFB,

$$I_3 = I \times \frac{\frac{1}{l_3}}{\frac{1}{l_0}+\frac{1}{l_1}+\frac{1}{l_2}+\frac{1}{l_3}},$$

4° Le calcul relatif à la figure 39 ne présente pas plus de difficultés.

Soit l_0	la longueur réduite de	MCD
l_1	—	CLD
l_2	—	CB
l_3	—	DE
l_4	—	BKE
l_5	—	EF
l_6	—	BA
l_7	—	FIG
l_8	—	FJG
l_9	—	HG
l_{10}	—	ANH
Et R	—	APH

l_0 et l_1 réunis ont pour résistance $\frac{l_0 l_1}{l_0+l_1}$; la longueur réduite BCDF est donc $l_2 + l_3 + \frac{l_0 l_1}{l_0+l_1}$, désignons-la pour simplifier par m.

En composant m avec l_4 on obtient pour la résistance totale ABEF,

$$l_5 + l_6 + \frac{l_4 m}{l_4+m}.$$

l_7 et l_8 produisent le même effet qu'un seul fil de résistance

$$\frac{l_7 l_8}{l_7+l_8}.$$

On peut ainsi remplacer toute la portion comprise entre A et H situés au-dessus de ANH par un seul fil ayant pour longueur réduite :

$$l_5 + l_6 + l_9 + \frac{l_4 m}{l_4+m} + \frac{l_7 l_8}{l_7+l_8}.$$

Soit n cette valeur ; n et l_{10} donnent pour résistance

$$\frac{n l_{10}}{n+l_{10}}$$

Ainsi la résistance totale est :

$$R + \frac{nl_{10}}{n + l_{10}}$$

et l'intensité du courant suivant APH.

$$I = \frac{F}{R + \frac{nl_{10}}{n + l_{10}}}.$$

Il reste à décomposer la marche du courant ponr obtenir l'intensité suivant les divers conducteurs.

Elle est suivant ANH :

$$I_{10} = I \times \frac{n}{n + l_{10}},$$

Suivant AB, HC et GF,

$$I_5 = I_6 = I_9 = I \times \frac{l_{10}}{n + l_{10}},$$

Suivant FJG,

$$I_8 = I_9 \times \frac{l_7}{l_7 + l_8},$$

Suivant FIG,

$$I_7 = I_9 \times \frac{l_8}{l_7 + l_8},$$

Suivant BLE,

$$I_4 = I_9 \times \frac{m}{m + l_4},$$

Suivant BC et DE,

$$I_2 = I_3 = I_9 \times \frac{l_4}{m + l_4},$$

Suivant CLD,

$$I_1 = I_3 \times \frac{l_0}{l_0 + l_1},$$

Suivant CMD,

$$I_0 = I_3 \times \frac{l_1}{l_0 + l_1}.$$

Note 8. (*Voir n°* 57.)

VITESSE DE PROPAGATION DE L'ÉLECTRICITÉ.

Les premières expériences sur la vitesse de l'électricité sont dues à M. Wheastone ; elles ont été faites avec la bouteille de Leyde. (*Voir* n° 57.)

On est parvenu à apprécier le temps infiniment court qui sépare les décharges électriques entre les différentes boules (*fig.* 40), au moyen d'un miroir tournant autour d'un axe légèrement incliné sur son plan.

En regardant dans le miroir l'image d'un point lumineux, on le voit décrire un arc de cercle, et l'axe semble tourner autour du centre de rotation du miroir.

Les boules étant placées sur cet axe, on regarde par réflexion les étincelles au moment de la décharge de la bouteille de Leyde. Si elles éclatent en même temps entre toutes les boules, on doit apercevoir une ligne droite lumineuse correspondant à un rayon ou à une position unique de l'axe.

Si, au contraire, il y a un retard, l'étincelle éclatant d'abord entre les boules inférieures, ensuite entre celles du milieu, et enfin entre les boules supérieures, l'image sur le miroir doit représenter une ligne oblique par rapport au rayon, et, d'après l'angle que forme cette ligne avec l'axe et la vitesse connue de la rotation du miroir, on peut déterminer le temps de ce retard.

On a reconnu, par cette méthode, qu'il se produit d'abord deux étincelles entre les boules extrêmes A et B, E et F, et plus tard une troisième entre les deux boules du milieu G et D, ce qui semble confirmer l'hypothèse de deux fluides partant des deux extrémités et se rejoignant par une suite de décompositions successives au milieu du conducteur. La vitesse de l'électricité serait de 460,000 kilomètres par seconde.

MM. Fizeau et Gounelle ont suivi une marche toute différente ; ils ont pris pour source électrique une pile voltaïque, et pour conducteur deux fils d'une longue ligne électrique réunis à l'extrémité.

L'appareil se compose d'une petite roue interruptrice en bois, portant sur sa circonférence des lames de platine dont la largeur est égale à celle

des parties isolantes (*fig.* 137). Deux ressorts pareils AC et BD appuient sur la roue de façon à toucher la même lame.

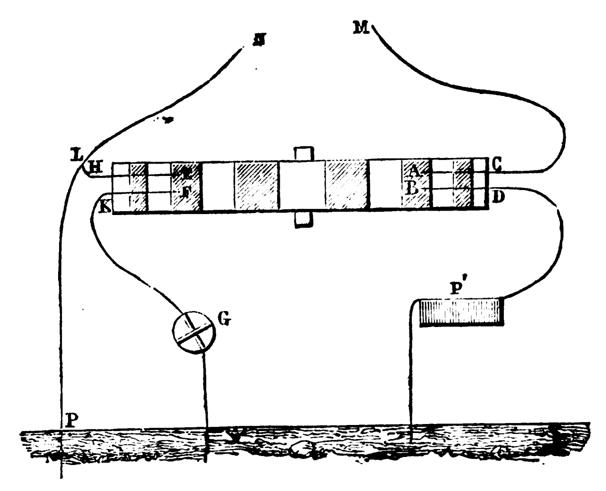


Fig. 137.

Si la roue tourne, les ressorts ne sont en communication qu'au moment où ils pressent sur une partie métallique. Deux autres ressorts EH et FK, disposés comme les premiers, reposent sur une autre partie de la circonférence. Les quatre ressorts passent au même instant d'une division à une autre de la roue.

Le ressort BD est en communication avec l'un des pôles de la pile P, dont l'autre correspond à la terre; le ressort AC est relié au conducteur MN dans lequel on veut mesurer la vitesse de l'électricité, l'extrémité opposée venant aboutir au ressort EH; quant au quatrième ressort FK, il est en communication avec la terre par l'intermédiaire d'un galvanomètre G.

Si, d'après la position de la roue, les quatre ressorts se trouvent sur des lames de platine, le courant partant de la pile passe par les ressorts BD et AC dans le conducteur CMNH; il revient par l'intermédiaire des ressorts HE et FK dans le galvanomètre G, et enfin par la terre à l'autre pôle de la pile.

Quand la roue tourne, les ressorts se trouvent pendant un instant sur

les portions isolantes, et le courant est interrompu en même temps que la communication du conducteur avec le galvanomètre. Le courant est donc envoyé sur la ligne pendant tout le temps que les ressorts mettent à passer sur une lame de platine. Supposons que ce temps soit égal précisément à celui qu'il faut à l'électricité pour parcourir tout le conducteur. Le fluide arrivera à l'extrémité au moment où les deux ressorts EH et FK commenceront à passer sur une partie isolante de la roue, et le courant ne pourra traverser le galvanomètre.

Le conducteur est alors chargé d'électricité, le fil de déviation LP est destiné à opérer sa décharge. Ce fil doit avoir une assez grande résistance pour que, quand la roue est en repos et que les ressorts appuient sur les lames de platine, le courant puisse se diviser en deux parties dont une traverse le galvanomètre.

Pour faire l'expérience, on fait tourner la roue en augmentant progressivement la vitesse; la déviation de l'aiguille du galvanomètre G diminue, et, le moment où elle cesse de décroître, correspond précisément au cas où l'électricité met à parcourir tout le conducteur le temps qu'il faut aux ressorts pour passer d'une lame à la suivante; on apprécie facilement ce temps par la vitesse de rotation de la roue et le nombre de lames. L'intensité n'est pas exactement nulle, parce que l'électricité, dont le fil est chargé, ne passe pas entièrement par la dérivation LP.

Si la rotation devient plus rapide, la déviation de l'aiguille augmente et atteint un maximum qui a lieu lorsque l'électricité qui part du ressort AC arrive en HF au moment où les ressorts commencent à passer sur une seconde lame métallique.

En augmentant encore la vitesse de rotation, le courant qui traverse G diminue de nouveau d'intensité; il passe ainsi par une suite de maximums et de minimums. Toutefois, les limites sont de moins en moins tranchées parce que le conducteur a moins le temps de se décharger par le fil LP.

On a varié l'expérience en faisant arriver le fil de dérivation sur l'interrupteur au moyen d'un système de deux ressorts semblables aux autres, mais, appuyant sur les parties isolantes quand les premiers reposent sur les lames conductrices, le courant ne traversait ce fil que lorsqu'il ne pouvait passer par le galvanomètre.

MM. Fizeau et Gounelle ont trouvé pour la vitesse de l'électricité dans le fer 100,000 kilomètres par seconde, et dans le cuivre 180,000 kilomètres par seconde.

La vitesse augmente avec la conductibilité du conducteur, mais ne lui est pas proportionnelle.

MM. Burnouf et Guillemin, dans une série d'expériences analogues

faites sur les lignes du Midi, ont trouvé 180,000 kilomètres par seconde pour la vitesse de l'électricité dans un fil de fer de 4 millimètres de diamètre.

Ils ont constaté, en se servant de deux fils d'une même ligne, qu'il se produit, au moment où l'on fait communiquer l'un d'eux avec la pile, un courant en sens contraire dans le second, même lorsque les deux fils sont isolés à l'extrémité. Ils ont cru devoir attribuer ce courant à l'induction.

La différence des résultats obtenus pour la vitesse de l'électricité s'explique par l'influence qu'exerce, sur la propagation, la position du conducteur par rapport aux corps environnants.

Nous avons déjà cité le retard qu'éprouve la transmission dans les lignes souterraines et sous-marines, et nous en avons indiqué la cause, due à ce que l'enveloppe extérieure neutralise une partie du fluide.

Voici quelques expériences curieuses entreprises par M. Faraday pour mettre en évidence la manière dont s'effectue la propagation du fluide électrique dans de longs conducteurs :

Plusieurs fils recouverts de gutta-percha ayant été déposés au fond de la mer, on a fait arriver les deux extrémités de chacun d'eux dans un cabinet, et, en les réunissant, on s'est procuré de longs circuits, dans lesquels on pouvait observer en différents points le passage du courant au moyen de galvanomètres placés aux jonctions. Une pile communiquait d'un côté avec la terre, l'autre pôle était relié à un manipulateur, servant à faire passer le courant dans le conducteur. M. Faraday a observé les faits suivants :

1° Si, le conducteur étant isolé à l'une de ses extrémités, on fait communiquer l'autre avec la pile pendant un moment, le fil reste électrisé, et, en le touchant avec le doigt, on ressent une vive commotion. L'accumulation d'électricité ne peut provenir que de la condensation produite par l'eau de la mer qui agit comme l'armature extérieure d'une bouteille de Leyde, car la commotion est insensible quand les fils sont isolés ;

2° Quand on établit cette communication, l'aiguille du premier galvanomètre dévie pendant un instant qui correspond au temps que le fil emploie à s'électriser ; elle dévie également, mais en sens contraire, au moment où l'on remplace la pile par un fil de terre. Le second courant, produit par la décharge du fil, n'est autre que le courant de retour (*voir* n° 157) ;

3° Si l'on fait communiquer une extrémité de la ligne avec la terre, et si l'on envoie le courant par l'autre, les galvanomètres, placés en différents

points sur le parcours du fil, dévient, mais successivement. L'aiguille du premier galvanomètre se met en mouvement aussitôt que la communication avec la pile est établie; celle du second galvanomètre commence à dévier au bout d'un instant appréciable; celle du troisième se meut ensuite, et ainsi de suite. Une fois que l'électricité est arrivée à l'extrémité du fil, les aiguilles conservent leurs déviations, qui, mesurant l'intensité du courant, sont égales si les galvanomètres sont identiques. Quand on enlève alors la communication avec la pile, le premier galvanomètre revient d'abord au repos, le second revient ensuite, puis le troisième, etc.;

4° Lorsqu'au point de départ on supprime la communication avec la pile, pour l'établir rapidement avec la terre, le galvanomètre, placé au milieu, revient le premier au repos, les deux voisins reviennent ensuite, et, en dernier lieu, les deux extrêmes. Le fil se décharge donc par le milieu, et l'électricité s'écoule en même temps des deux côtés;

5° Au lieu d'employer des galvanomètres pour observer le passage du courant, on peut placer sur le parcours du fil un appareil électro-chimique. Le papier, préparé au prussiate de potasse, se colore en bleu, et la marque est d'autant plus foncée que le courant est plus intense.

Lorsqu'on envoie le courant sur la ligne, on voit très-promptement, à l'extrémité opposée, la trace d'un faible courant qui augmente insensiblement d'intensité, jusqu'au moment où il devient constant. Si on enlève la communication avec la pile, le trait devient de moins en moins formé et disparait peu à peu.

Il faut conclure de cette expérience que l'électricité ne se transmet pas instantanément dans le fil. Au moment où le conducteur offre une issue au courant le fluide s'étend en vertu de sa force expansive et parvient d'abord en petite quantité à l'extrémité; l'écoulement augmente à mesure que le fil se charge, et ne devient régulier qu'au bout d'un certain temps. Quand le circuit est rompu, l'électricité continue à s'échapper, mais en s'étendant de nouveau.

Supposons maintenant qu'on envoie un second courant avant que le premier ait eu le temps de s'écouler complétement; les deux courants se confondront, et, à l'extrémité de la ligne, il n'y aura pas d'interruption complète. L'intensité passe par un minimum d'autant plus sensible que le temps qui s'écoule entre les deux courants est plus grand.

Si l'on produit de rapides interruptions de courant, il n'est plus possible à l'extrémité de distinguer la séparation des courants successifs,

C'est ce qui rend la transmission télégraphique assez lente sur les lignes sous-marines.

Quand le second courant est de sens contraire au premier, l'électricité, qui se répand dans le fil, neutralise l'électricité contraire qui subsiste encore, et, à l'extrémité de la ligne, l'intensité est exactement nulle pendant un instant.

Il ne faut pas croire néanmoins que la transmission télégraphique puisse être beaucoup plus rapide, quand on change à chaque émission le sens du courant : si, en effet, le temps pendant lequel on met le manipulateur sur contact est très-court, l'écoulement n'a pas le temps de s'établir complétement, et l'électricité contraire, arrivant immédiatement, neutralise en grande partie le premier courant, qui ne parvient à l'extrémité qu'avec une faible intensité. Pour des interruptions très-rapides, on n'observerait aucun courant au poste correspondant.

Ces phénomènes ne s'observent pas sur les lignes aériennes, surtout lorsqu'elles n'ont qu'une faible étendue.

Pour expliquer le retard que produit la condensation du fluide contre les parois des fils souterrains, il faut admettre qu'il ne peut arriver dans le conducteur pendant un temps donné qu'une certaine quantité d'électricité. Celle qui se répand dans le fil est d'abord absorbée par cette condensation et par le fil lui-même qui doit s'électriser avant de transmettre le fluide. Le courant ne peut s'établir complétement que lorsque la pile a pu fournir assez d'électricité pour rendre cette charge complète, ce temps dépend de la longueur du conducteur et de l'épaisseur de l'enveloppe isolante.

Ce retard est indépendant de la force électro-motrice de la pile, car si d'un côté le fluide tend à se répandre plus rapidement quand la tension est considérable, d'un autre côté, l'induction contre les parois est plus forte, et une quantité plus grande d'électricité est absorbée.

Cette limite à la production du fluide électrique tient sans doute à la résistance qu'offrent les corps qui constituent le circuit, résistance qui empêche la transmission d'être instantanée. La vitesse de l'électricité dans divers conducteurs n'est pas exactement proportionnelle à leur conductibilité, parce qu'il faut ajouter à cette résistance, qui est une des causes du retard, la charge électrique que doit prendre chaque molécule avant que le courant puisse s'établir. Cette seconde cause de retard peut être indépendante de la conductibilité.

Plusieurs physiciens ont cru voir dans la propagation de l'électricité un mouvement vibratoire analogue à celui qui se passe dans la transmission de la chaleur et du son, et ont cherché à obtenir des ondes électri-

ques, se transportant parallèlement à elles-mêmes sans se confondre dans un conducteur unique.

Ce qui précède est loin de confirmer cette hypothèse, et si l'on veut seulement assimiler le phénomène à un autre plus facile à saisir, sans chercher à établir une théorie, c'est au mouvement d'un gaz dans un tuyau qu'on doit le comparer.

Concevons en effet un long tuyau vide que l'on puisse mettre à volonté, à l'une de ses extrémités, en communication avec un immense réservoir rempli d'air à une certaine pression, et qui communique de l'autre côté avec un espace vide indéfini.

Au moment où l'air pénètre dans le tuyau, le gaz se répand dans le tube, et arrive peu à peu à l'extrémité; l'écoulement, d'abord assez lent, devient régulier au bout d'un certain temps. Dans cet état, le tuyau est rempli d'air, mais la pression n'est pas la même aux différents points; elle est égale à celle du gaz contenu dans le réservoir d'un côté, et de l'autre, elle est presque nulle. Deux circonstances peuvent faire varier le temps nécessaire pour que l'écoulement devienne régulier : 1° le gaz éprouve une résistance causée par le frottement contre les parois, qui peut être faible dans un large tuyau, mais qui devient sensible si le tuyau est composé d'une infinité de petits tubes; 2° le tuyau doit se remplir d'une certaine masse d'air qui augmente si, par des circonstances particulières, une partie du gaz s'accumule contre les parois; par exemple, s'il y a des renflements en différents points, ce qui produit un effet analogue à la condensation de l'électricité dans les conducteurs sous-marins.

On retrouve, en analysant cet écoulement d'un gaz, tous les phénomènes des courants, de retour, de diffusion de l'électricité, de courants dérivés, etc.

On peut même reproduire l'inversion du sens du courant en supposant que le tuyau débouche dans un espace indéfini plein d'air à une pression déterminée et qu'à l'autre extrémité on le fasse communiquer alternativement avec deux réservoirs, dont l'un contienne de l'air à une pression supérieure, et l'autre à une pression inférieure.

Note 9. (*Voir n°* 58.)

SUR LA CONDUCTIBILITÉ DE LA TERRE.

Parmi les physiciens qui se sont occupés de cette question, M. Matteucci est celui dont les expériences sont les plus complètes. Nous allons citer quelques-uns des résultats qu'il a obtenus.

En premier lieu, il a déterminé avec le rhéostat la résistance de couches isolées de différents terrains en les enfermant dans un canal prismatique en bois.

Ces résistances varient comme pour les fils métalliques proportionnellement à la longueur de la couche, et en raison inverse de sa section.

La conductibilité d'un terrain tient presque uniquement à l'eau qu'il contient; elle est sensiblement nulle quand la couche est sèche, et augmente quand on l'imprègne d'eau, et surtout d'eau contenant un sel en dissolution.

Lorsqu'on compare la résistance d'une couche isolée avec celle d'une couche semblable faisant partie du sol, les électrodes qui établissent la communication avec la pile étant identiques, on trouve que la couche isolée offre toujours une plus grande résistance au courant.

La différence entre les deux résistances augmente avec la longueur de la couche ainsi comparée. Elle diminue au contraire jusqu'à devenir nulle quand cette longueur décroît, et devient nulle d'autant plus rapidement que la conductibilité de la couche est meilleure.

Quand on plonge les électrodes dans le sol, la résistance augmente avec leur distance, mais non pas proportionnellement comme lorsque la couche est isolée. Voici les nombres qui représentent cette résistance pour un cas particulier :

Distance des électrodes.	Résistances.
0m,50	68
1 mètre	74
5 »	97
10 »	102
20 »	109
50 »	123

La résistance est toujours plus grande sur le sommet d'une montagne que dans la plaine. Ainsi pour un terrain analogue à celui que donnait les nombres précédents, et en conservant la même unité pour la résistance, on a trouvé sur le sommet d'une montagne.

Distance des électrodes.	Résistance.
1 mètre.	152
10 »	222
50 »	531
100 »	849

La résistance diminue quand la profondeur de la couche augmente. Les électrodes étant à 145 mètres de distance, on a trouvé :

Profondeurs de la couche.	Résistance.
0m,100.	91
0m,250.	83
1 mètre.	74
2 »	70

Enfin l'étendue des électrodes a également une grande influence comme le montre le tableau suivant :

COUCHE D'ARGILE D'ALLUVION de 1 mètre d'épaisseur.		COUCHE DE 145 MÈTRES DE LONGUEUR formée de terre et de l'eau de deux puits où étaient placés les électrodes.	
ÉTENDUE DES ÉLECTRODES.	RÉSISTANCE.	ÉTENDUE DES ÉLECTRODES.	RÉSISTANCE.
0m,0120	174	0m,0140	44
0m,0425	140	0m,0460	33 ½
0m,1600	81	0m,2500	11 ½
0m,2500	47	0m,5280	11 ½
0m,3250	31		

Ainsi la résistance diminue quand la surface des électrodes augmente, mais elle tend vers une certaine limite à partir de laquelle elle

reste constante. La limite est d'autant plus faible que la conductibilité du terrain qui entoure l'électrode est plus grande. Dans l'eau de mer, par exemple, on ne remarque aucune différence dans la résistance en faisant varier l'étendue des électrodes depuis $0^{m},0160$ jusqu'à $0^{m},5280$.

Lorsque la longueur de la couche est très-grande, comme cela a lieu pour les lignes électriques, la distance des électrodes n'a pas d'influence sensible. Les seules causes qui font varier la conductibilité de la terre sont la dimension des plaques qui plongent en terre et la nature du terrain dans lequel elles sont placées, et quand ce terrain est lui-même assez bon conducteur, la dimension des plaques est à peu près indifférente.

Pour fixer la valeur exacte de cette résistance, M. Matteucci a opéré sur la ligne de Pise à Pontedora de $20^{k},198$ de longueur; les électrodes étaient deux plaques de cuivre de $0^{m},5280$ de surface plongées dans des puits de 8 à 10 mètres de profondeur, contenant 2 à 5 mètres d'eau.

La résistance de la terre déduite de plusieurs expériences successives était égale à 8 fils de laiton placés sur un cadre de 2 mètres de hauteur, chacun des fils offrant la même résistance qu'un fil de fer de 3 millimètres de diamètre et de 175 mètres de longueur.

En prenant pour unité le fil de 3 millimètres de diamètre, la résistance serait 1,400 mètres, et en prenant le fil de 4 millimètres, 2,488 mètres.

On peut expliquer théoriquement la plupart des lois précédentes en étudiant la propagation de l'électricité dans de grandes masses.

Considérons d'abord (*fig.* 138) un plan *mn* formé d'une matière conductrice, et une pile dont on met les deux pôles en communication avec le plan par les deux fils CA et ZB. L'électricité se transmet de l'un des électrodes, A, à l'autre, B, mais en suivant une infinité de chemins tels que AGB, AKB, etc. Il y a donc un nombre infini de petits courants dérivés dont la somme est égale à l'intensité du courant principal. Le plus intense est évidemment celui qui suit la ligne droite AB.

Quant à la résistance du plan, elle dépend évidemment de la distance des points A et B, de la nature et de la forme du plan, de la position et de la dimension des électrodes.

Si les deux points A et B étaient situés sur les bords du plan, il y aurait un moins grand nombre de courants, et la résistance serait plus grande. On peut, par le calcul, déterminer la forme des courants et la résistance du plan dans quelques cas particuliers.

Quand le plan, au lieu d'être limité comme dans la figure 138, est indéfini, ou du moins très-grand par rapport à la distance des élec-

trodes, les courants sont symétriques par rapport à la ligne AB. Lorsque la distance et l'étendue des électrodes augmentent, cette résistance

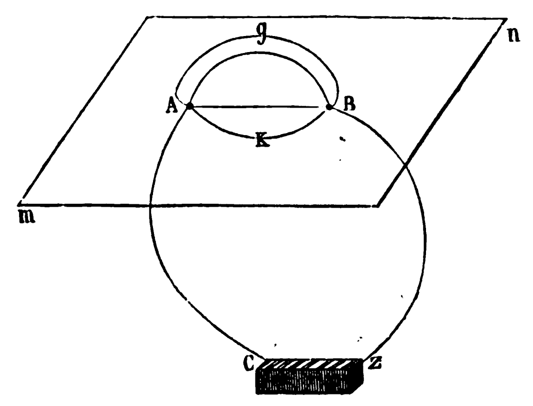


Fig. 138.

tend vers une limite constante qui dépend uniquement de l'épaisseur et de la conductibilité du plan.

Au lieu d'un plan, on peut imaginer un corps solide conducteur dans lequel on plonge les électrodes. Le phénomène est exactement le même; il se forme autour de chaque électrode une sorte de dispersion du courant dans tous les sens, et si le corps a de très-grandes dimensions, sa résistance tend vers une certaine limite fixe.

Lorsque les points par lesquels arrive le courant sont à la surface, la résistance est plus grande que lorsqu'ils sont au milieu du corps, ce qui explique pourquoi la conductibilité de la terre est plus grande quand les électrodes sont à une certaine profondeur, et pourquoi elle diminue sur le sommet des montagnes.

Il se produit dans la terre qu'on peut considérer comme une immense sphère conductrice, de même que dans le plan (*fig.* 138) et dans le corps solide, autour de chaque électrode, une diffusion du fluide qui donne lieu à une infinité de petits courants allant dans toutes les directions. Pour concevoir la conductibilité de la terre est-il nécessaire que tous ces courants soient complets, c'est-à-dire qu'ils aillent d'un électrode à l'autre, quels que soient d'ailleurs les états électriques aux divers points environnants? En d'autres termes, la terre agit-elle comme

un grand réservoir qui absorbe l'électricité provenant de chaque électrode, ou comme un conducteur ordinaire? La question revient à savoir si une pile étant placée entre deux grandes masses de la dimension de la terre, on obtiendrait un courant en faisant communiquer l'une d'elles au pôle positif et l'autre au pôle négatif.

Il nous semble que la théorie de la pile répond à cette question.

Lorsqu'on fait communiquer les deux pôles d'une pile avec deux masses conductrices, elles se chargent toutes les deux, l'une d'électricité positive, l'autre d'électricité négative, et il se produit dans la pile un courant qui dure jusqu'au moment où s'est établi un équilibre électrique dépendant de la masse des deux corps et de la tension de la pile. La durée de ce courant varie avec la quantité d'électricité que doivent prendre les corps, celle que la pile peut produire pendant un temps donné, ou qui peut passer à travers les fils conducteurs qui réunissent les deux masses.

On observe facilement ce courant, comme nous l'avons vu, sur les lignes électriques, seulement il est toujours de faible durée. Mais si les masses des deux corps sont assez grandes pour qu'elles puissent absorber une quantité d'électricité égale à celle que peut produire la pile, le mouvement électrique aura lieu jusqu'à ce que la combinaison chimique des corps soit complète.

C'est sans doute le phénomène qui se passe quand deux électrodes plongent à une grande distance. Les deux électricités se répandent dans toute la masse et peuvent être neutralisées si d'autres sources électriques se trouvent dans le voisinage ; mais comme les deux fluides dégagés sont toujours en quantités égales, l'état électrique de la terre reste sensiblement le même. On peut donc admettre que la terre joue un double rôle : elle absorbe à chaque électrode l'électricité qui se dégage, et en même temps elle reconstitue à la longue le fluide neutre.

Note 10. (*Voir n°* 68.)

MOUVEMENTS D'HORLOGERIE.

Presque tous les appareils télégraphiques contiennent un mouvement d'horlogerie qui sert soit à faire dérouler une bande de papier, soit à

faire tourner une aiguille. Il nous paraît utile d'entrer à ce sujet dans quelques détails pour qu'on comprenne bien toutes les parties des différents récepteurs.

Un mouvement d'horlogerie consiste dans une série de roues dentées qui engrènent les unes avec les autres et dont l'une est mise en mouvement par une certaine force. La roue motrice ayant en général un mouvement très-lent, on arrive à donner aux autres roues une vitesse convenable en fixant aux divers axes de rotation deux roues, une grande et une petite, comme le montre la figure 139 dans laquelle on voit les systèmes de roues A, B et *b*, C et *c*, D et *d*. Les roues *b*, *c* et *d* se nomment pignons.

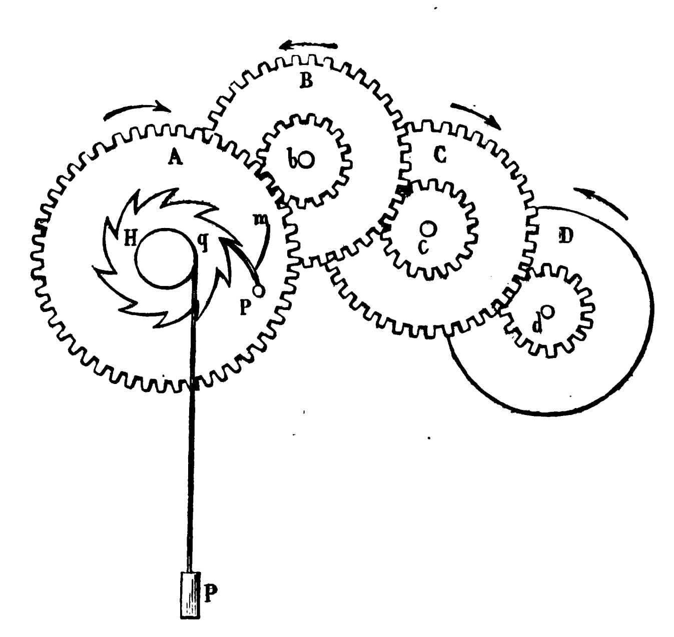


Fig. 139.

Lorsque la roue A tourne, elle communique le mouvement au pignon *b* qu'elle fait tourner en même temps que la roue B fixée au même

axe, la roue B fait tourner à son tour le pignon *c* et par suite la roue C qui produit le même effet sur *d*.

Supposons que la roue A ait cinquante dents, la roue B quarante et la roue C trente, et que les trois petites roues en aient chacune dix, un tour de la roue A correspondra à cinq tours de B, à vingt tours de C et enfin à soixante tours de D.

Le moteur qu'on emploie pour produire le mouvement est un poids ou un ressort. Considérons en premier lieu un poids suspendu à la corde *qr* : en descendant ce poids fait tourner la roue A et par conséquent toutes les autres. Quand le poids est au bas de sa course, on le remonte en tournant en sens contraire l'arbre sur lequel la corde est enroulée. Si la roue A était directement fixée à l'arbre, elle tournerait avec lui pendant le remontage et entraînerait toutes les autres roues en sens contraire de la rotation ordinaire; pour empêcher ce mouvement rétrograde, on rend l'arbre *a* indépendant de la roue A ; à cet effet, il tient à une petite roue H dont les dents sont inclinées et qu'on nomme rochet. Un doigt ou cliquet, fixé en *p* sur la roue A, s'engage entre les dents, contre lesquelles il est pressé par un petit ressort fixé en *m*. Le poids P fait tourner le rochet qui entraîne la roue A par l'intermédiaire du doigt. Pour remonter le poids on tourne l'arbre ; la roue A reste immobile, le doigt glissant sur les dents de H.

Pendant le remontage, le poids n'agit pas sur le système, et le mouvement des roues est arrêté. On évite cet arrêt au moyen d'une chaîne sans fin qui passe dans les gorges de deux poulies, dont l'une tient à la première roue du mouvement et l'autre, indépendante, est munie d'un rochet qu'un ressort empêche de tourner. (*Voir fig.* 80.)

Le poids est suspendu à une petite poulie mobile qui lui permet de glisser sur la chaîne ; il agit en même temps sur les deux grandes poulies, mais il ne peut faire tourner que celle qui transmet le mouvement aux roues du mécanisme.

Pour remonter le poids quand il est au bas de sa course, on tourne la poulie qui porte le rochet, et, pendant ce mouvement, le poids continue à agir sur la roue B (*fig.* 80).

A mesure que le poids descend, le mouvement tend à s'accélérer ; on emploie différents moyens pour le rendre uniforme.

Quand on n'a pas besoin d'une régularité parfaite, par exemple, lorsqu'il s'agit de faire dérouler une bande de papier, on arrive au résultat en fixant sur celui des axes qui tourne le plus rapidement, des ailes auxquelles l'air oppose une résistance augmentant rapidement avec la vitesse. La rotation s'accélère au début, mais en même temps la résis-

tance s'accroît et il arrive un moment où il y a équilibre entre le poids et cette résistance ; et le mouvement reste alors uniforme.

On augmente la vitesse de rotation, soit en ajoutant des poids supplémentaires, soit en inclinant les ailes de manière qu'elles opposent une moins grande surface à l'air.

Quand on a besoin d'une grande précision, comme dans la construction des horloges, on règle le mouvement au moyen du pendule. On nomme pendule, un corps suspendu à l'extrémité d'un fil ou d'une tige et qui se meut autour du point de suspension ; les oscillations, lorsqu'elles sont petites, ont la même durée quelle que soit leur amplitude ; elles sont d'autant plus rapides que la distance du centre de gravité au point de suspension est plus faible.

Pour se servir du pendule, on fixe, sur l'un des axes mis en mouvement par le poids, une roue dentée, dite roue d'échappement (*fig.* 140),

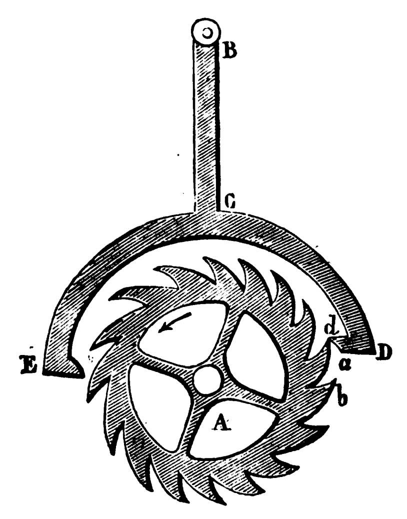


Fig. 140.

dont les dents sont terminées en pointes. Le pendule fait mouvoir en même temps que lui une pièce de forme circulaire CDE, nommée ancre d'échappement. La roue, entraînée par le mouvement d'horlogerie, tend à tourner dans le sens indiqué par la flèche, mais elle est arrêtée

par le bras D de l'ancre qui empêche la dent *d* de passer. Quand le pendule oscille, le bras D*a* s'éloigne de la dent et la roue tourne; l'autre bras, E, vient à son tour arrêter une dent de l'autre côté. Le pendule, revenant ensuite sur ses pas, le bras D arrête la dent suivante, *b*. La roue, pendant une oscillation du pendule, tourne d'un angle correspondant à l'espace qui sépare deux dents; comme les oscillations sont égales, le mouvement est toujours régulier.

Pour obtenir une rotation plus rapide, il suffit de raccourcir le pendule.

Un simple pendule s'arrête au bout de peu de temps par suite des frottements qu'il éprouve et de la résistance de l'air. Il n'en est pas de même ici, parce que les dents de la roue d'échappement, qui tend à tourner sous l'action du moteur, exercent, en glissant sur les bras de l'ancre, une pression qui rend au pendule le mouvement qu'il perd continuellement.

Le moteur au lieu d'être un poids est souvent un ressort. C'est une lame plate enroulée en spirale dans un cylindre nommé barillet. L'une des extremités du ressort est fixée au barillet et l'autre à un axe central. Le barillet étant fixe on tourne l'axe pour tendre le ressort, et l'effort qu'il fait pour reprendre sa forme primitive fait tourner en sens contraire l'axe qui transmet le mouvement à la première roue par l'intermédiaire d'un rochet semblable à H (*fig*. 129). Quelquefois l'axe est fixe et c'est le barillet qui tourne sur lui-même.

Dans beaucoup de cas, le ressort agit sur le barillet (*fig*. 141), auquel est fixé la première roue du mouvement, mais on le tend en tournant l'axe qui est retenu par un rochet; avec cette disposition le mouvement n'est pas arrêté pendant le remontage, puisque le ressort ne cesse pas d'exercer son action sur le barillet.

Le ressort, à mesure qu'il se détend, a moins de force, et, par suite, le mouvement se ralentit. Dans les montres on rend la force constante au moyen d'une fusée, c'est-à-dire un tronc de cône droit sur lequel est tracée une hélice. Cette fusée étant placée à côté du barillet, on enroule sur l'hélice, en commençant par la base du cône, une petite chaine flexible, dont l'extrémité est attachée au barillet; c'est la fusée qui communique le mouvement à la première roue. Quand le barillet tourne, il tire la chaîne qui vient s'enrouler sur lui en faisant tourner la fusée.

Lorsque le ressort est tendu, il tire la chaîne avec sa plus grande force; à mesure qu'il se détend la force diminue, mais le rayon, à l'extrémité duquel elle exerce son action sur la fusée, par l'intermédiaire de

la chaîne, augmentant, la vitesse de rotation reste à peu près constante.

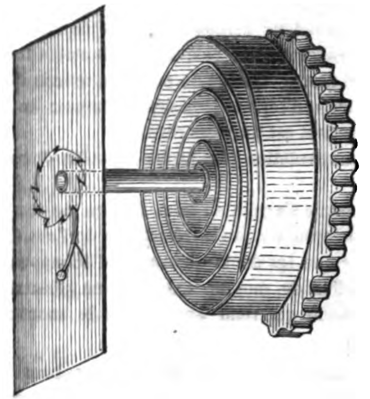


Fig. 141.

Pour tendre le ressort, on tourne la fusée en sens contraire, la chaîne s'enroule de nouveau en entraînant le barillet.



Fig. 142.

On peut régler un mouvement d'horlogerie dont la force motrice est

un ressort au moyen d'un volant ou d'un pendule. Dans les montres on remplace le pendule par un petit ressort enroulé en spirale (*fig.* 142), dont l'extrémité extérieure A est fixe, et dont l'autre est fixée à un axe mobile *b*. Quand on imprime un petit mouvement au ressort, il éprouve une vibration qui fait osciller l'axe *b*. Ces oscillations, comme celles du pendule, sont égales, leur durée dépend uniquement de la longueur du ressort. L'axe *b* communique son mouvement oscillatoire à un demi-cylindre *cd* évidé au milieu, qui remplit, par rapport à une roue d'échappement, le même office que le pendule et ne laisse passer qu'une seule dent à chaque oscillation. On rend les oscillations plus rapides ou plus lentes en raccourcissant ou en allongeant le ressort au moyen d'une pièce appelée raquette qui vient appuyer en différents points *m*, *n*, etc. du ressort.

Note 11. (*Voir n°* 76.)

SUR LA FORCE MAGNÉTIQUE DÉVELOPPÉE DANS LES ÉLECTRO-AIMANTS.

La force magnétique développée dans un électro-aimant est proportionnelle à l'intensité du courant et au nombre de tours que fait le fil autour du fer doux, lorsque l'éloignement ne dépasse pas une certaine limite qui, pour les électro-aimants employés en télégraphie, est d'environ 12 millimètres. A partir de cette distance, l'influence du courant décroît rapidement.

Le volume que doit occuper le fil autour d'un électro-aimant est donc limité, et, si l'on veut augmenter le nombre de tours, il faut diminuer la section du fil.

Cela posé, il est facile de déterminer la condition qu'il doit remplir pour développer la plus grande force magnétique quand la résistance extérieure est connue.

Soit *u* la résistance que présenterait le fil s'il était disposé de façon à ne faire qu'un seul tour sur le fer doux, en occupant tout le volume compris dans la limite d'action. Si on le divise de façon à faire deux

tours, la section sera réduite de moitié et la longueur sera double, la résistance sera donc $4u$.

S'il fait n tours, la résistance sera n^2u.

$$r = n^2u.$$

F étant la force électro-motrice et R étant la résistance du circuit en comprenant celle de la pile, l'intensité du courant est :

$$I = \frac{F}{R + n^2u},$$

et la force magnétique : $A = nI$,

ou $$A = \frac{nF}{R + n^2u}.$$

Lorsqu'on fait varier n, la force magnétique A change ; elle a sa plus grande valeur lorsque :

$$R = n^2u \text{ (1)}$$

ou $$R = r.$$

Ainsi la disposition la plus favorable du fil autour de l'électro-aimant correspond au cas où sa résistance est égale à celle de toute la ligne.

La force magnétique a pour valeur

$$A = \frac{nF}{2r}.$$

Cette loi n'est pas parfaitement exacte quand le nombre de tours doit être très-considérable, parce que nous n'avons pas tenu compte de la soie qui entoure le fil et qui occupe un certain volume.

Elle doit d'ailleurs être modifiée lorsqu'il existe en certains points de de la ligne des dérivations.

Prenons pour exemple la ligne ANB (*fig.* 92) en un point N de laquelle se trouve une dérivation NH.

Désignons par a la résistance PAN, celle de la pile étant comprise ; par b la longueur NB, par c la résistance de la dérivation NH, et par r la résistance du fil qui entoure l'électro-aimant E, $r = n^2u$.

La résistance totale du circuit est :

$$R = \frac{c(b + r)}{c + b + r} + a,$$

et l'intensité du courant suivant AN,

1. *Voir* la note 6 dans laquelle se trouve une équation semblable.

$$I = \frac{F(c+b+r)}{c(b+r)+a(c+b+r)}.$$

L'intensité du courant qui traverse le recepteur est :

$$I' = \frac{Fc}{c(b+r)+a(c+b+r)}$$

et la force magnétique :

$$A = \frac{nFc}{c(b+n^2u)+a(c+b+n^2u)}$$

ou

$$A = \frac{nFc}{bc+ac+ab+n^2u(a+c)}.$$

pour que A soit maximum, il faut remplir la condition :

$$n^2u(a+c) = bc+ac+ab,$$

ou

$$r = b + \frac{ac}{a+c}.$$

Cette formule montre que la résistance du fil qui entoure l'électro-aimant doit être égale à celle de la ligne prise par rapport au poste où se trouve le récepteur, et en tenant compte de la dérivation.

Elle est donc plus faible que lorsqu'il n'y a pas de perte de courant sur la ligne, et plus les dérivations sont considérables, plus cette résistance doit diminuer.

Note 12. (*Voir* n° 80.)

SUR LA COMMUNICATION SIMULTANÉE.

Les calculs relatifs à la communication simultanée sont analogues à ceux que fournit l'étude des courants dérivés. (*Voir* note 7.)

Considérons comme exemple particulier une ligne télégraphique comprenant cinq portes en communication simultanée, A, B, C, D et E (*fig.* 143); r_b, r_c, r_d et r_e sont les récepteurs qui communiquent d'un côté avec la ligne et de l'autre avec la terre.

Lorsque le courant part du poste A, il se divise en B en trois parties; la première passe par le récepteur r_b ; la seconde suit la ligne BE, et traverse le récepteur r_e ; la troisième parcourt le fil BC et se divise en deux parties, dont l'une passe par le récepteur r_c, et l'autre continue suivant CD.

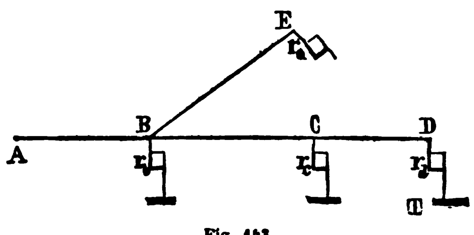


Fig. 143.

Désignons les longueurs AB par l_b,
— — BE — l_c,
— — BC — l_c,
— — CD — l_d,

et les résistances des bobines des récepteurs par r_b, r_e, r_c et r_d.

Pour connaître l'intensité du courant qui traverse les divers appareils, on calcule, en premier lieu, la résistance totale du circuit.

La résistance CDT est égale à $l_d + r_d$. En la composant avec la résistance r_c, et en ajoutant l_e, on obtient la résistance de toute la portion BCD, désignons-la par x.

$$x = \frac{(l_d + r_d) r_c}{l_d + r_d + r_c} + l_c.$$

Les trois conducteurs qui aboutissent en B ont pour résistance

$$x, \quad l_e + r_e \text{ et } r_b.$$

Ils peuvent se remplacer par un fil unique de longueur réduite égale à

$$\frac{x r_b (l_e + r_e)}{x r_b + x(l_e + r_e) + r_b(l_e + r_e)}.$$

Enfin, en ajoutant l_b et la résistance p de la pile, on obtient la longueur réduite de tout le circuit.

La force électro-motrice étant F, l'intensité du courant suivant AB est

$$I = \frac{F}{\frac{x r_b (l_e + r_e)}{x r_b + x\ (l_c + r_c) + r_b (l_e + r_e)} + l_b + p};$$

Le courant qui traverse le récepteur r_b a pour intensité

$$I_b = I \left(\frac{x (l_e + r_e)}{x\ r_b + x\ (l_c + r_e) + r_b (l_e + r_c)} \right);$$

celui qui traverse le récepteur r_e,

$$I_e = I \left(\frac{x\ r_b}{x\ r_b + x\ (l_e + r_e) + r_b (l_e + r_c)} \right);$$

celui qui suit la ligne BC,

$$I' = I \left(\frac{r_b (l_e + r_e)}{x\ r_b + x\ (l_e + r_e) + r_b (l_e + r_e)} \right);$$

celui qui traverse le récepteur r_c,

$$I_c = I' \left(\frac{l_d + r_d}{l_d + r_d + r_c} \right);$$

enfin, celui qui traverse le récepteur r_d,

$$I_d = I' \left(\frac{r_c}{l_d + r_d + r_c} \right).$$

Les intensités des courants qui traversent les quatre récepteurs ne sont donc pas égales en général.

Pour les rendre identiques, il faut ajouter aux appareils des rhéostats ou des bobines de résistance.

Désignons par r'_b, r'_c, r'_d et r'_e les résistances que devront avoir ces différents rhéostats, et supposons que les bobines de tous les appareils soient identiques, soit r_1 leur résistance commune. Les notations r_b,

r_c, r_d et r_e représentent la somme des résistances des récepteurs et des rhéostats, de sorte que

$$r_b = r'_b + r_1,$$
$$r_c = r'_c + r_1,$$
$$r_e = r'_e + r_1,$$
$$r_d = r_1;$$

le poste D étant le plus éloigné n'a pas besoin de rhéostat.

En égalant les intensités I_b, I_c, I_d et I_e, on est conduit aux équations suivantes :

$$r'_e = l_d$$

$$x = \frac{r'_b + r_1}{2} \quad \text{ou} \quad r'_b = l_d + 2l_c.$$

$$l_e + r'_e = r'_b \quad \text{ou} \quad r'_e = l_d + 2l_c + l_e.$$

Admettons, par exemple, que toutes les longueurs l_b, l_c, l_d, l_e soient égales à 100 kilomètres, et que la résistance r_1 du fil qui forme l'électro-aimant des appareils soit 200 kilomètres.

Les résistances que devront avoir les rhéostats seront :

$$r'_c = 100 \text{ kil.};$$
$$r'_b = 300 \text{ kil.};$$
$$r'_e = 200 \text{ kil.}$$

La résistance totale du circuit, par rapport au poste A, est

$$R = p + 225,$$

et, en négligeant la résistance de la pile,

$$R = 225 \text{ kil.},$$

l'intensité du courant suivant AB est donc

$$I = \frac{F}{225},$$

et, celle du courant qui traverse les divers récepteurs,

$$I = \frac{F}{900}.$$

Ainsi chaque appareil sera traversé par un courant égal à celui que donnerait la même pile sur un circuit de 900 kilomètres de longueur.

On peut admettre qu'une pile formée de 80 éléments Daniell peut faire marcher, à une distance de 700 kilomètres, un récepteur ordinaire (à cadran ou Morse) dont la bobine offre une résistance de 200 kilomètres.

L'intensité $\frac{F}{900}$ est donc suffisante pour que le courant produise des signaux, et les quatre appareils de la figure 143 recevront les transmissions du poste A.

Les résistances des divers rhéostats devraient être modifiés, si, au lieu de partir du poste A, le courant était envoyé de l'un des autres postes B, C, D ou E.

Cette égalité dans l'intensité des courants qui traversent les divers récepteurs n'est pas une condition indispensable, car il suffit que chacun des appareils reçoive un courant suffisant pour pouvoir fonctionner. Si l'intensité est trop considérable, on tend le ressort de rappel.

Supposons donc, en nous reportant à la figure 143, qu'aucun rhéostat ne soit placé aux stations, et cherchons l'intensité des courants en conservant la même hypothèse sur les valeurs de l_b, l_c, etc.

$$l_b = l_c = l_d = l_e = 100 \text{ kil.}$$

et

$$r_b = r_c = r_d = r_e = 200 \text{ kil.}$$

On trouve en faisant les substitutions dans les équations ci-dessus :

$$x = 220 \text{ kil.}$$

$$I = \frac{F}{178},$$

$$I_b = \frac{F}{458},$$

$$I_c = \frac{F}{687},$$

$$I' = \frac{F}{504},$$

$$I_e = \frac{F}{840},$$

$$I_d = \frac{F}{1260}.$$

Désignons par m l'intensité du courant produit par une pile de 80 éléments sur un circuit de 900 kilomètres,

$$m = \frac{F}{900}.$$

Cette intensité étant la plus faible qui puisse faire marcher un récepteur, on aura pour les rapports $\frac{I_b}{m}$ $\frac{I_c}{m}$, etc., les valeurs suivantes :

$$\frac{I_b}{m}=\frac{900}{458}=1,96.$$

$$\frac{I_c}{m}=\frac{900}{687}=1,31.$$

$$\frac{I_e}{m}=\frac{900}{840}=1,07.$$

$$\frac{I_d}{m}=\frac{900}{1260}=0,71.$$

Les portes B, E et C recevront assez de courant ; mais il n'arrivera pas au poste D avec une intensité suffisante pour faire fonctionner l'appareil.

Note 13. (*Voir n°* 166.)

FORMULES RELATIVES AUX DÉRANGEMENTS.

Dans toutes les recherches de dérangement, la question principale à résoudre consiste à déterminer la longueur ou la résistance d'un circuit parcouru par un courant.

1° Lorsqu'on a un rhéostat comparé préalablement au fil conducteur de la ligne, il suffit de faire passer le courant sur la section dont on cherche la résistance en interposant sur son parcours un galvanomètre, et de remplacer ensuite la ligne par un rhéostat en le faisant communiquer d'un côté avec le galvanomètre et de l'autre avec la terre. On fait varier la longueur du fil du rhéostat jusqu'à ce qu'on obtienne la même déviation de l'aiguille du galvanomètre.

2° A défaut de rhéostat, on peut évaluer cette résistance en comparant l'intensité du courant avec celle qu'on obtient en faisant agir le même nombre d'éléments de la pile sur une ligne de longueur connue.

Supposons qu'avec n éléments et une longueur a de la ligne, on obtienne une intensité I;

$$I = \frac{nf}{nr + a}.$$

Lorsqu'on veut avoir, en cas de dérangement, la résistance extérieure, on envoie le courant sur la ligne en composant la pile du même nombre d'éléments, et en se servant du même galvanomètre. x étant cette résistance, et I' l'intensité observée,

$$I' = \frac{nf}{nr + x},$$

ces deux équations donnent :

$$\frac{I}{I'} = \frac{nr + x}{nr + a}.$$

$\frac{I}{I'}$ est le rapport des intensités indiquées par le galvanomètre. Quand le nombre des degrés ne dépasse pas vingt, on peut prendre pour ce rapport celui des degrés eux-mêmes.

En désignant par m ce rapport, on a

$$x = ma + (m - 1)\,nr.$$

r est égal, pour les éléments Daniell ordinaires, à $0^k,8$.

Si l'on néglige la résistance de la pile, on a simplement

$$x = ma.$$

Lorsque la déviation de l'aiguille du galvanomètre est trop considérable, on peut procéder autrement.

Au lieu de conserver le même nombre d'éléments n que dans les expériences journalières sur l'état des lignes, et pour lequel on a l'équation

$$I = \frac{nf}{nr + a},$$

on diminue leur nombre jusqu'à ce qu'on obtienne avec le nouveau circuit la même intensité I du courant. Soit n' le nombre d'éléments nécessaires,

$$I = \frac{n'f}{n'r + x}$$

ces deux équations donnent :

$$x = \frac{n'}{n}\,a.$$

Enfin, si l'on veut admettre pour la pile Daniell les constantes que nous avons indiquées (*voir* note 5),

$$\frac{f}{110} = 1$$

l'unité de courant étant celui qui donne un degré de déviation avec une boussole ayant douze tours de fil, la résistance x d'un conducteur sera donnée par l'équation :

$$m = \frac{n \times 110}{n \times 0,8 + x}$$

ou

$$x = \frac{n}{m} \times 110 - n \times 0,8,$$

et en négligeant le dernier terme

$$x = \frac{n}{m} \times 110,$$

n étant le nombre des éléments employés, et m le nombre de degrés que donne l'aiguille du galvanomètre.

La force électro-motrice des piles est trop variable avec l'état des dissolutions, pour qu'on puisse considérer cette dernière formule comme suffisamment exacte.

Ainsi, par l'un des moyens précédents on peut toujours, dans un bureau télégraphique, connaître approximativement la résistance extérieure opposée au courant qu'on envoie sur la ligne, en prenant pour unité le fil qui forme le conducteur.

Revenons maintenant aux différents cas de dérangements extérieurs.

1° Lorsqu'un fil est rompu, il traîne ordinairement à terre sur une longueur plus ou moins grande. En admettant que la communication avec le sol soit parfaite, on détermine la distance x à laquelle a lieu le dérangement au moyen d'une des formules précédentes.

On trouve toujours un nombre trop grand, car, à la résistance du conducteur, il faut ordinairement ajouter une certaine constante qui dépend de la manière dont est établi le contact avec le réservoir commun. On pourrait même trouver si le contact était très-imparfait, une longueur supérieure à celle de la ligne entière ; aussi le résultat ne doit-il être pris que comme une limite supérieure.

Si à l'autre bureau on fait la même expérience, on obtient aussi approximativement le lieu où existe le dérangement ; c'est entre ces deux points que doivent être dirigées les recherches.

2° Supposons que le fil ne soit pas rompu, mais qu'il ait une communication avec la terre en un certain point.

AB (*fig.* 92) représente la ligne et NH la dérivation. On ignore le point où elle se trouve et la résistance qu'elle peut offrir au courant.

Soit $AN = x$, $NB = x'$ et $NH = y$, y représentant la résistance de la dérivation exprimée par une longueur de fil de même nature que celui de la ligne.

On fait isoler la ligne au poste B, et on envoie le courant du poste A.

Il passe entièrement par le fil NH, et, en nommant p la résistance A NH, calculée comme nous l'avons indiqué plus haut, on a

$$p = x + y.$$

Au poste B on fait la même expérience, le fil étant isolé en A; le courant envoyé de B suit la route BNH, et en nommant q cette résistance,

$$q = x' + y,$$

si a est la longueur totale de la ligne AB,

$$x + x' = a;$$

de ces trois équations on tire

$$x = \frac{p - q + a}{2},$$

$$x' = \frac{q - p + a}{2}$$

$$\text{et} \quad y = \frac{p + q - a}{2},$$

qui font connaître le point où se trouve la dérivation et sa résistance.

On peut procéder différemment et se procurer ainsi un moyen de vérification.

La première expérience consiste à faire isoler le fil en B, et à envoyer le courant du point A. La résistance p est encore égale à $x + y$,

$$p = x + y.$$

On fait alors établir au point B une communication du fil de la ligne avec la terre sans que le courant traverse l'appareil.

On envoie encore le courant au poste A et on calcule la résistance que lui offre la ligne. Soit r cette résistance; d'après les lois sur les courants dérivés, on a :

$$r = x + \frac{yx'}{y + x'}.$$

Au moyen de ces deux équations et de la relation

$$x + x' = a$$

on détermine x, x' et y.

$$x = r - \sqrt{r^2 + pa - pr - ar},$$

$$x' = a - r + \sqrt{r^2 + pa - pr - ar}$$

$$\text{et } y = p - r + \sqrt{r^2 + pa - pr - ar}.$$

3° On peut facilement se rendre compte de l'influence qu'exerce sur la transmission du courant la position du point où se trouve la dérivation.

Soit a la longueur totale de la ligne ABE, en supposant le fil de l'électro-aimant remplacé par un conducteur de même nature que celui de la ligne; x la résistance PAN, et y la résistance NH.

Lorsque le courant part du poste A, la résistance totale est

$$x + \frac{y\,(a - x)}{y + a - a};$$

l'intensité du courant suivant AN, en nommant F la force électro-motrice de la pile,

$$\frac{F}{x + \frac{y\,(a - x)}{y + a - x}},$$

et l'intensité du courant I, qui traverse l'appareil E,

$$I = \frac{Ey}{ay + x\,(a - x)}.$$

Lorsque x varie, c'est-à-dire lorsque le point où se trouve la dérivation change, la valeur de I ne reste pas constante.

Si $x = o$ ou si $a = x$, $I = \frac{E}{a}$; l'intensité est alors la même que s'il n'y avait pas de dérivation.

Le premier cas se réalise à peu près quand la dérivation se trouve près du point A; mais le second ne peut se présenter, car a comprend non-seulement la ligne AB, mais encore le fil qui entoure l'électro-aimant dont la résistance ne peut être négligée.

La formule montre que l'intensité du courant est la même pour des points situés à égale distance des extrémités de la ligne. Ainsi, si la dérivation se trouve au point B, le courant qui traverse E est le même que si elle était située à une distance de A égale à 200 kilomètres, la résistance de la bobine E étant de 200 kilomètres.

Le produit $x(a-x)$ a sa plus grande valeur lorsque $x=\frac{a}{2}$; ainsi le cas le plus défavorable pour la transmission est celui pour lequel la résistance est égale des deux côtés de la dérivation.

Pour une ligne de 500 kilomètres, dont le courant traverse à l'extrémité une bobine ayant 200 kilomètres de résistance, a est égal à 700 kilomètres. Le point situé à 350 kilomètres de A est donc celui où doit se trouver la dérivation pour avoir la plus grande influence sur la transmission.

4° Quand deux fils d'une même ligne sont mélangés, on peut en général considérer la communication qui s'établit entre les deux fils comme parfaite.

Pour trouver le lieu du mélange, on fait isoler les deux fils à l'extrémité de la ligne, et on envoie le courant par l'un des deux ; il revient par l'autre, et, en établissant une communication avec la terre, la résistance du circuit est égale à deux fois la longueur du fil qui représente la distance à laquelle a lieu le dérangement.

Si p représente cette résistance et x la distance à laquelle se trouve le mélange

$$x=\frac{p}{2},$$

à l'autre poste on fait la même expérience, et la somme des deux longueurs ainsi trouvées doit être égale à a.

Lorsque cette somme est plus petite que a, il faut en conclure qu'il y a plusieurs mélanges sur la ligne ; quand, au contraire, elle est supérieure, il en résulte que la communication entre les deux fils n'est pas parfaite ; en désignant par y la résistance qu'elle oppose au courant, on modifie ainsi les formules.

Le nombre p trouvé au premier poste représente la longueur $2x$ plus la résistance y de la communication

$$p=2x+y.$$

q étant le nombre trouvé au deuxième poste,

$$q=2(a-x)+y,$$

d'où on déduit

$$x=\frac{p-q+2a}{4}$$

et

$$y=\frac{p+q-2a}{2}.$$

Note 14. (*Voir n°* 220.)

SUR LA CHAINETTE [1].

La courbe ADB (*fig.* 105), que forme un fil librement suspendu entre deux points fixes, a pour équation

$$y = \frac{h}{2}\left(e^{\frac{x}{h}} + e^{-\frac{x}{h}}\right),$$

en la supposant rapportée à deux axes, dont l'un CH vertical passe par le point le plus bas de la courbe ; l'autre HK horizontal ne représente plus le sol (comme au n° 220), mais une ligne située à une distance HD égale à h du point le plus bas.

La valeur de h est donnée par l'équation

$$T = \pi h,$$

T étant la tension du fil au point le plus bas, et π le poids d'un mètre de longueur du fil.

Pour le fil de fer de 4mm de diamètre. . . . $\pi = 0^k,10$;
Pour celui de 3mm de diamètre. . . . . . $\pi = 0^k,06$.

Si la tension au point le plus bas est de 70 kilogrammes, h a pour valeur 700 mètres (pour le fil de 4mm).

La tension du fil n'est pas la même aux différents points de la courbe. En la désignant par T_1, on a

$$T_1 = \pi y.$$

Pour un autre point,

$$T'_1 = \pi y',$$

d'où l'on déduit

$$T_1' - T_1 = \pi(y' - y).$$

Ainsi la différence de tension entre deux points est égale au poids

(1) Cette note exige, pour être comprise, des notions élémentaires de mécanique.

d'un fil de même nature que celui qui forme la chaînette et qui aurait pour longueur la différence de niveau entre les deux points.

La flèche CD est égale à la différence KB — HD ou $y - h$. En nommant a la distance horizontale des deux points de suspension A et B supposés à la même hauteur, et f la flèche,

$$f = \frac{h}{2}\left(e^{\frac{a}{2h}} + e^{-\frac{a}{2h}}\right) - h.$$

En développant cette expression on obtient

$$f = h\left\{\frac{1}{2}\left(\frac{a}{2h}\right)^2 + \frac{1}{2.3.4.}\left(\frac{a}{2h}\right)^4 + \frac{1}{2.3.4.5.6.}\left(\frac{a}{2h}\right)^6 + \text{etc.}\right\}$$

Lorsque la flèche est très-petite par rapport à la distance a des points de suspension, on peut négliger les puissances de $\frac{a}{2h}$ supérieure à la seconde.

On a dans ce cas pour f l'expression

$$f = \frac{a^2}{8h},$$

et, en remplaçant h par $\frac{T}{\pi}$,

$$f = \frac{a^2\pi}{8T}.$$

La flèche est donc sensiblement proportionnelle au carré de la distance des points d'appui et en raison inverse de la tension.

On peut dans de certaines limites se servir de cette dernière formule pour calculer les flèches, mais, lorsqu'on veut une grande approximation, ou lorsque la distance des supports est considérable, il faut avoir recours à la série, et calculer les différents termes en s'arrêtant à celui dont la valeur est inférieure à l'approximation qu'on veut obtenir. C'est ainsi que les tableaux des pages 258 et 259 ont été dressés. Il a fallu prendre trois termes de la série pour les portées dépassant 800 mètres.

Il y a une petite différence entre les nombres que donne l'application de la formule, et ceux qui résultent de l'expérience, à cause de la roideur du fil de fer; toutefois, cette différence est peu sensible dans les limites de tension adoptées pour la construction des lignes électriques, et l'on peut regarder comme suffisamment exacts les nombres que nous avons indiqués.

En faisant varier la longueur ADB (*fig.* 105) du fil suspendu aux deux

points fixes A et B, on peut à volonté augmenter ou diminuer la tension au point le plus bas de la chainette, mais il existe une certaine forme de la courbe pour laquelle la tension au point de suspension est minimum.

Cette tension a pour valeur

$$T_1 = \pi y$$

ou

$$T_1 = \frac{\pi h}{2}\left(e^{\frac{a}{2h}} + e^{-\frac{a}{2h}}\right).$$

Pour trouver le minimum, il suffit d'égaler à zéro la dérivée de T_1 par rapport à h.

En posant

$$\frac{a}{2h} = z,$$

on est conduit à l'équation

$$e^z = \frac{z+1}{z-1}.$$

La valeur de z est comprise entre 1,19 et 1,20. Soit

$$\frac{a}{2h} = 1{,}20 \quad \text{ou} \quad h = \frac{a}{2{,}40}.$$

L'expression $e^{\frac{a}{2h}} + e^{-\frac{a}{2h}}$ est égale, dans ce cas, à 3,62, prenons pour simplifier 3,60.

On obtient, pour la longueur BK, pour la tension T au point le plus bas, pour la tension T_1 au point B, et pour la flèche f les valeurs suivantes :

$$BK = y = \frac{3}{4}a,$$

$$T = \frac{\pi a}{2{,}4},$$

$$T_1 = \frac{3}{4}\pi a,$$

$$f = \frac{a}{3}.$$

Ces formules peuvent servir à déterminer la plus grande distance que peuvent avoir les points de suspension.

La résistance P, qu'un fil de métal oppose à la traction a pour expression

$$P = Af;$$

A étant la section exprimée en millimètres carrés, et f la résistance d'un fil ayant 1 millimètre carré de section.

La tension au point le plus élevé ne devant jamais dépasser cette résistance, on a, pour déterminer la limite de a,

$$T_1 = Af = \frac{3}{4}\pi a.$$

En nommant d la densité du métal qui forme le fil, le poids π d'un mètre de longueur du fil, est,

$$\pi = \frac{Ad}{1000},$$

l'équation devient :

$$Af = \frac{3\,Ada}{4000}$$

ou

$$a = \frac{4000\,f}{3d},$$

Pour le fer recuit, l'effort qui peut occasionner la rupture d'un fil de 1mm. c. de section est 40 kilogrammes. (*Voir* les formules et renseignements pratiques de M. Claudel.)

En faisant dans la formule $f = 40$ et $d = 7{,}7$, on trouve

$$a = 6920^{m}.$$

Avec cette distance des supports, le fil romprait sous son propre poids auprès des points de suspension.

Si le fil était suspendu dans l'eau, comme cela a lieu pour les télégraphes sous-marins, il faudrait diminuer de 1 la valeur de d.

On trouve $a = 7{,}960.$

Dans la pratique, la tension du fil ne doit jamais atteindre le cinquième ou le sixième de la force qui peut occasionner la rupture.

Nous avons dit au n° 221 que dans l'établissement des lignes électriques la tension du fil de fer de 4 millimètres de diamètre ne doit pas dépasser 70 kilogrammes, et celle du fil de 3 millimètres non recuit 80 kilogrammes.*

En substituant à T_1 ces deux nombres, dans l'équation $T_1 = \frac{3}{4}\pi a$, on trouve, pour la plus grande distance des points de suspension,

1° pour le fil de 4 millimètres. . . . . $a =$ 930 mètres;
2° pour le fil de 3 millimètres. . . . . $a =$ 1770 mètres;
la flèche serait dans le premier cas . . . . 310 mètres,
et dans le second . . . . 590 mètres.

Il nous reste pour terminer à étudier l'influence de la température sur la chaînette.

On doit tenir compte de la longueur du fil suspendu entre les deux points fixes.

Soit l la longueur de la courbe DB.

Il existe entre les longueurs BK, HD et BD la relation

$$l^2 = y^2 - h^2;$$

et comme

$$y = h + f,$$

$$l^2 = f^2 + 2hf.$$

Prenons pour f le premier terme du développement de la formule

$$f = \frac{h}{2}\left(e^{\frac{a}{2h}} + e^{-\frac{a}{2h}}\right),$$

qui donne une approximation suffisante :

$$f = \frac{a^2}{8h},$$

ou

$$h = \frac{a^2}{8f},$$

$$l^2 = f^2 + \frac{a^2}{4}.$$

En admettant cette formule on considère BCD comme un triangle rectangle dont l'hypoténuse est BD.

Pour une autre valeur de l. on a de même

$$l_1^2 = f_1^2 + \frac{a^2}{4},$$

et, en prenant la différence,

$$f^2 - f_1^2 = l^2 - l_1^2.$$

Lorsque la température augmente de t degrés, une longueur l de fil devient $l\,(1 + Kt)$, K étant le coefficient de dilatation du fer.

Lorsqu'au contraire elle diminue de t degrés, la longueur l devient $\frac{l}{1 + Kt}$, ou approximativement $l\,(1 - Kt)$.

En posant $l_1 = l(1 - Kt)$, la formule précédente donne, en négligeant les puissances de K, supérieures à 1.

$$f^2 - f_1{}^2 = 2l^2Kt,$$

ou
$$(f - f_1)(f + f_1) = 2\left(\frac{a^2}{4} + f^2\right)Kt.$$

f^2 est très-petit par rapport à $\frac{a^2}{4}$, ainsi que la diminution de la flèche par rapport à f. On peut donc poser :

$$f - f_1 = \frac{a^2Kt}{4f}.$$

Pour avoir l'augmentation de la tension, on remplace f par $\frac{a^2\pi}{8T}$, et f_1 par $\frac{a^2\pi}{8T_1}$, ce qui donne

$$\frac{a^2\pi}{8}\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_1}\right) = \frac{2T}{\pi} \times Kt,$$

ou approximativement :

$$T_1 - T = \frac{16\,T^3}{a^2\,\pi^2} \times Kt.$$

Pour le fil de fer, la valeur de K est égale à $\frac{1}{81200}$.

Ainsi pour chaque diminution de 1 degré dans la température, la flèche décroît de

$$\frac{a^2}{324800\,f},$$

et la tension augmente de

$$\frac{T^3}{a^2\,\pi^2} \times \frac{1}{10150}.$$



APPENDICE.

I.

Stations télégraphiques.

Le nombre des villes d'Europe qui possèdent des bureaux télégraphiques au 1er janvier 1857 est de 1378.

Elles sont divisés de la manière suivante :

France.			151
Angleterre.			482
Belgique.			31
Suisse.			107
Espagne.			15
Sardaigne.			63
Union allemande.		Autriche.	77
—	—	Prusse.	82
—	—	Bavière.	27
—	—	Wurtemberg.	25
—	—	Saxe.	42
—	—	Hanovre.	15
—	—	Grand-duché de Bade.	34
		A reporter.	1,151

Report.	1,151
Union allemande. États divers de la Confédération Germanique.	41
— — Hollande.	38
Italie. États de l'Église.	6
— Deux-Siciles.	9
— Grand-Duché de Toscane.	12
— États divers.	7
Russie.	21
Turquie.	5
Principautés danubiennes.	14
Danemark.	13
Suède et Norwége.	61
Total.	1,378

Dans les villes importantes, les bureaux sont ouverts nuit et jour au public; dans la plupart des autres villes, le service commence à sept ou huit heures du matin et finit à neuf heures du soir. Il existe aussi une troisième classe de stations télégraphiques dans lesquelles le travail est limité de neuf heures du matin à midi, et de deux heures à sept heures du soir.

Quelques bureaux sont fermés pendant la saison d'hiver.

Voici la liste des villes de France qui sont pourvues de bureaux télégraphiques :

	Distance de Paris en myriam.		Distance de Paris en myriam.
Abbeville.	15	Aubin.	49
Agen.	64	Auch.	60
Aix.	65	Aurillac.	44
Alais.	55	Auxerre.	16
Alby.	55	Avignon.	59
Alençon.	18	Bar-le-Duc.	21
Amiens.	12	Bayonne.	68
Angers.	27	Beaucaire.	60
Angoulême.	40	Beauvais.	7
Arles.	61	Besançon.	34
Arras.	17	Beziers.	62

	Distance de Paris en myriam.		Distance de Paris en myriam.
Blois	16	Grasse	69
Bordeaux	51	Gray	30
Boulogne	22	Grenoble	49
Bourg	37	Guéret	30
Bourges	20	Haguenau	41
Brest	52	Hâvre (Le)	18
Caen	21	Laon	13
Cahors	50	Laval	25
Calais	24	Libourne	49
Cannes	70	Lille	21
Carcassonne	63	Limoges	35
Cette	62	Lisieux	17
Châlons-sur-Marne	16	Lons-le-Saulnier	35
Châlon-sur-Saône	31	Lorient	45
Chartres	8	Lunel	60
Châteauroux	24	Lunéville	32
Chaumont	23	Lyon	40
Cherbourg	31	Mâcon	35
Clermont-Ferrand	35	Mans (Le)	19
Cognac	61	Mantes	3
Colmar	39	Marmande	52
Dax	64	Marseille	67
Dieppe	16	Maubeuge	20
Digne	62	Melun	5
Dijon	27	Mende	50
Dôle	32	Metz	29
Douai	18	Mézières	21
Draguignan	68	Montauban	55
Dunkerque	25	Montbrison	39
Elbeuf	12	Mont-de-Marsan	60
Epernay	13	Montélimart	52
Epinal	32	Montereau	7
Evreux	10	Montpellier	60
Foix	66	Morlaix	47
Gannat	32	Moulins	27
Gap	57	Mulhouse	40
Grandville	30	Nancy	29

	Distance de Paris en myriam.		Distance de Paris en myriam.
Nantes	35	Saint-Omer	22
Napoléon-Vendée	38	Saint-Quentin	14
Narbonne	64	Saumur	26
Nevers	22	Sedan	22
Nîmes	59	Strasbourg	41
Niort	36	Tain	47
Orange	57	Tarbes	66
Orléans	12	Thionville	29
Paris	»	Tonneins	53
Pau	66	Tonnerre	17
Périgueux	43	Toulon	71
Perpignan	69	Toulouse	60
Poitiers	30	Tourcoing	22
Privas	50	Tours	21
Puy (Le)	45	Troyes	15
Quimper	50	Tulle	41
Reims	14	Valence	48
Rennes	32	Valenciennes	19
Roanne	35	Vannes	41
Rochefort	42	Versailles	2
Rochelle (La)	41	Vesoul	33
Rodez	51	Vienne (Isère)	42
Roubaix	22	Villefranche (Aveyron)	51
Rouen	12	Wissembourg	42
Saint-Brieuc	39	Ajaccio	»
Saint-Étienne	42	Bastia	»
Saint-Lô	26	Bonifacio	»
Saint-Malô	33		

Quelques villes ont plusieurs stations télégraphiques. Il en existe douze à Paris, savoir :

1° Au ministère de l'intérieur, rue de Grenelle ;
2° Rue Richelieu, 83, vis-à-vis la Bourse ;
3° Au Luxembourg, palais du Sénat ;
4° A l'Hôtel des Postes, rue Jean-Jacques-Rousseau ;
5° A la Douane, rue de l'Entrepôt ;
6° A la Bibliothèque impériale, rue Vivienne ;

7° A la gare du chemin de fer du Nord ;
8° — — de l'Ouest ;
9° — — d'Orléans ;
10° — — de l'Est ;
11° — — de Versailles (boulev. Montparnasse) ;
12° — — de Lyon.

En France, les bureaux sont ouverts tous les jours de sept heures du matin à neuf heures du soir depuis le 1er avril jusqu'au 31 septembre, et de huit heures du matin à neuf heures du soir depuis le 1er octobre jusqu'au 31 mars.

Il est établi un service de nuit dans les villes suivantes : Paris (ministère de l'Intérieur), Lyon, Marseille, Strasbourg, Bordeaux, Nantes et Calais.

II.

Correspondance télégraphique privée.

Dans tous les pays, le télégraphe a été mis à la disposition des particuliers. Des lois spéciales règlent pour chaque État le tarif des dépêches. Nous mentionnerons seulement ce qui est relatif à la France.

TARIF FRANÇAIS.

La correspondance télégraphique privée en France a été établie, modifiée et réglementée par les lois des 29 novembre 1850, 28 mai 1853, 22 juin 1854, 21 juillet 1856, et par un décret en date du 17 juin 1852. Voici les dispositions principales qui sont actuellement en vigueur :

Il est permis à toutes personnes, dont l'identité est établie, de correspondre au moyen du télégraphe électrique de l'État, par l'entremise des fonctionnaires de l'administration télégraphique.

La transmission de la correspondance télégraphique privée est toujours subordonnée aux besoins du service télégraphique de l'État.

Les dépêches écrites lisiblement en langage ordinaire et intelligible, signées par les personnes qui les envoient, sont immédiatement numérotées. Elles sont rappelées sur un registre à souche par leur numéro et leur nombre de mots. Ce registre est signé par l'expéditeur ou son mandataire.

L'expéditeur ou le destinataire qui veut obtenir copie d'une dépêche par lui envoyée ou reçue, paye une taxe de copie fixée à la somme de cinquante centimes.

Le directeur du télégraphe peut, dans l'intérêt de l'ordre public et des bonnes mœurs, refuser de transmettre les dépêches. En cas de réclamation, il en est référé, à Paris, au ministre de l'intérieur, et, dans les départements, au préfet ou au sous-préfet, ou à tout autre agent délégué par le ministre de l'intérieur. Cet agent, sur le vu de la dépêche, statue d'urgence.

Si, à l'arrivée au lieu de destination, le directeur estime que la communication d'une dépêche peut compromettre la tranquillité publique, il en refère à l'autorité administrative, qui a le droit de retarder ou d'interdire la remise de la dépêche.

La correspondance télégraphique privée peut être suspendue par le Gouvernement, soit sur une ou plusieurs lignes séparément, soit sur toutes les lignes à la fois.

L'État n'est soumis à aucune responsabilité à raison du service de la correspondance privée par la voie télégraphique.

Les dépêches télégraphiques privées sont soumises à la taxe suivante, perçue au départ :

Pour une dépêche de un à quinze mots, il est perçu un droit fixe de deux francs, plus dix centimes par myriamètre.

Les distances servant de base au calcul des taxes sont prises à vol d'oiseau depuis le point de départ jusqu'au point d'arrivée.

Au-dessus de quinze mots la taxe précédente est augmentée d'un dixième pour chaque série de cinq mots ou fraction de série excédant.

Il est accordé, pour l'adresse de chaque dépêche, de un à cinq mots qui ne sont pas comptés.

Au-dessus de cinq mots, l'excédant est compté et taxé avec le corps de la dépêche.

Tout nombre jusqu'au maximum de cinq chiffres est compté pour un mot. Les nombres de plus de cinq chiffres représentent autant de mots qu'ils contiennent de fois cinq chiffres, plus un mot pour l'excédant. Les virgules et les barres de division sont comptées pour un chiffre; les autres signes comptent pour autant de mots qu'il en faut pour les exprimer.

La date et le lieu de départ sont transmis d'office.

Les dépêches entre deux bureaux télégraphiques d'une même ville sont soumises à une taxe fixe indépendante des distances.

La taxe est d'un franc pour une dépêche d'un à quinze mots; elle est

augmentée d'un dixième pour chaque série de cinq mots en fraction de série excédant.

Les dépêches de nuit entre les stations télégraphiques où il existe un service de nuit ne donnent lieu à aucune surtaxe.

Dans les stations où le service de nuit n'est pas permanent, les dépêches de nuit sont soumises à la double taxe; elles doivent être annoncées pendant le service de jour.

Le port des dépêches à domicile est gratuit.

Néanmoins, lorsqu'un expéditeur demande qu'il soit délivré une copie de sa dépêche à plusieurs domiciles, dans un même lieu de station, il paye cinquante centimes de port, plus cinquante centimes de droit de copie, pour chaque expédition, moins une.

Tout expéditeur peut exiger qu'on lui fasse connaître l'heure de l'arrivée de sa dépêche, soit au bureau télégraphique, soit au domicile du destinataire, à charge par lui de payer en plus le quart de la somme qu'aurait coûté la transmission d'une dépêche simple pour le même parcours.

En payant double taxe les particuliers ont la faculté de recommander leurs dépêches. Toute dépêche recommandée est vérifiée par une répétition de la dépêche faite par le directeur destinataire.

Le ministre de l'intérieur est autorisé à concéder des abonnements à prix réduits aux chambres de commerce, aux syndicats des agents de change et aux syndicats des courtiers de commerce, sous la condition que les dépêches seront immédiatement rendues publiques dans les formes déterminées par le ministre.

Une réponse peut être payée d'avance par l'expéditeur, qui dépose à titre d'arrhes une somme égale à la taxe d'une dépêche simple; il est délivré récépissé du dépôt. Si les arrhes sont insuffisantes, la dépêche n'est remise qu'après règlement de compte.

Quand le destinataire d'une dépêche ne réside pas dans la localité où est situé le bureau télégraphique d'arrivée, l'expéditeur doit indiquer le mode d'envoi, et cette indication compte dans les mots taxés.

Il est payé suivant le cas :

Pour l'envoi par la poste, quarante centimes d'affranchissement et de recommandation.

Pour l'envoi par exprès, un franc pour le premier kilomètre et cinquante centimes pour chacun des suivants sans liquidation.

Pour estafette, trois francs soixante-quinze centimes tant que la distance ne dépasse pas un myriamètre; au-dessus, on ajoute trente-sept centimes et demi par hilomètre.

La taxe des dépêches pour les trois bureaux de la Corse se règle d'après le tarif franco-sarde.

Il existe en Algérie plusieurs lignes électriques, mais comme elles ne sont pas encore reliées au réseau européen, on met à la poste, à Marseille, les dépêches pour l'Afrique.

TARIF INTERNATIONAL.

Deux conventions conclues, l'une à Berlin, le 29 juin 1855, l'autre à Paris, le 29 décembre 1855, règlent les tarifs des dépêches internationales entre la France et la plupart des États du continent européen.

La première comprend l'Autriche, la Prusse, la Hollande et tous les États de la Confédération germanique ; la Russie, la Turquie et les États de l'Italie (moins la Sardaigne) y ont adhéré. Les principales bases du tarif sont les suivantes :

DISTANCES.	TARIFS.		
	de 1 à 25 mots inclusivement.	de 26 à 50 mots inclusivement.	de 51 à 100 mots inclusivement.
De 1 à 75 kilomètres (1re zone).	2 fr. 50	5 fr. »	7 fr. 50
De 75 à 190 kilomètres (2e zone).	5 fr. »	10 fr. »	15 fr. »
De 190 à 340 kilomètres (3e zone).	7 fr. 50	15 fr. »	22 fr. 50
De 340 à 525 kilomètres (4e zone).	10 fr. »	20 fr. »	30 fr. »
De 525 à 750 kilomètres (5e zone).	12 fr. 50	25 fr. »	37 fr. 50
De 750 à 1,015 kilomètres (6e zone).	15 fr. »	30 fr. »	45 fr. 50

Dans le calcul des taxes, la distance parcourue par une dépêche est comptée en ligne droite sur le territoire de chaque État.

La longueur de la dépêche simple est fixée à vingt-cinq mots. Le nom du bureau de départ et la date de l'expédition sont transmis d'office.

Il est accordé, pour chaque adresse, d'un à cinq mots qui ne sont

pas taxés ; les mots de l'adresse dépassant ce maximum sont comptés et taxés avec le corps de la dépêche.

Tout caractère isolé, lettre ou chiffre, compte pour un mot.

Tout nombre, jusqu'au maximum de cinq chiffres inclusivement, est compté pour un mot.

Les nombres de plus de cinq chiffres représentent autant de mots qu'ils contiennent de fois cinq chiffres plus un mot pour l'excédant.

Le maximum de la longueur d'une dépêche est fixé à cent mots ; au delà de cent mots, la taxe d'un à ving-cinq mots recommence à être appliquée ; la transmission des dépêches, dont le texte dépasse cent mots peut être retardée pour céder la priorité à des dépêches plus brèves quoique inscrites postérieurement. Un même expéditeur ne peut faire passer plusieurs dépêches consécutives que dans le cas où le service de l'appareil n'est pas réclamé par d'autres personnes.

Tout expéditeur qui exige du bureau de destination l'accusé de réception de sa dépêche doit payer, pour le recevoir, le quart de la somme qu'aurait coûté la transmission d'une dépêche de vingt-cinq mots. Il doit payer la moitié de la somme qu'a coûté la transmission de sa dépêche, s'il demande qu'elle lui soit renvoyée tout entière pour être collationnée. Le destinataire peut aussi demander que la dépêche reçue soit collationnée, mais il doit payer une seconde fois la taxe.

La réponse peut être payée d'avance par l'expéditeur qui la demande. Lorsque la longueur de cette réponse, les cinq mots de l'adresse non-compris, ne dépasse pas dix mots, on ne paye que demi-taxe. Si cette réponse n'est pas parvenue dans les cinq jours qui suivent sa demande, le prix de la taxe déposée est remboursé sous déduction d'un quart de sa valeur.

Les dépêches qui doivent être communiquées ou déposées à des stations intermédiaires sont considérées et taxées comme autant de dépêches séparées, envoyées à chaque lieu de destination.

Il est payé pour les dépêches dont il doit être délivré plusieurs copies dans un lieu de station un supplément de quatre-vingt-dix centimes pour chaque exemplaire à remettre en sus de la dépêche primitive.

Lorsqu'un expéditeur demande que son identité soit attestée dans le lieu de destination, il acquitte, en sus de la taxe de sa dépêche, un droit fixe d'un franc vingt-cinq centimes.

Dans les stations où le service de nuit n'est pas permanent les dépêches de nuit payent double taxe.

Aucune dépêche de nuit n'est acceptée qu'autant qu'elle a été annon-

cée pendant le service de jour, et qu'on a indiqué l'heure où elle sera déposée dans le bureau de départ.

Le minimum à déposer comme arrhes au moment où la dépêche de nuit est annoncée est égal à la taxe afférente à la dépêche simple.

Lorsque la dépêche n'est pas présentée à l'heure annoncée, le montant des arrhes n'est pas restitué.

Les frais de transport des dépêches en dehors des lignes télégraphiques sont perçus au départ. Pour le transport par lettres recommandées, la taxe est uniformement de cinquante centimes pour les localités du pays où se trouve le bureau de destination, et d'un franc cinquante centimes pour les localités situées en dehors de ce pays sur le continent européen.

Quant au transport par piéton ou exprès, dans un rayon maximum fixé par les administrations télégraphiques respectives, l'expéditeur qui le demande est tenu de payer une taxe uniforme de deux francs cinquante centimes, laquelle est acquittée au bureau d'origine. En dehors de ce rayon, et quand il y a possibilité de fournir des estafettes, le prix à déposer est de quatre francs par myriamètre.

La deuxième convention a été conclue entre la France, la Belgique, l'Espagne, la Sardaigne et la Suisse.

DISTANCES.	PAR MOTS	
	de 1 à 15 mots inclusivemt.	TAXE ADDITIONNELLE pour chaque série de 5 mots ou fraction de série au-dessus de 15.
1re zone, de 1 à 100 kilomètres. . .	1 fr. 50	0 fr. 50
2e zone, au-dessus de 100 jusqu'à 250	3 fr. »	1 fr. »
3e — — 250 — 450	4 fr. 50	1 fr. 50
4e — — 450 — 700	6 fr. »	2 fr. »
5e — — 700 — 1,000	7 fr. 50	2 fr. 50
Et ainsi de suite, en suivant la même loi, chaque zone excédant de 50 kilomètres la largeur de celle qui précède.		

Les dépêches des particuliers se divisent en deux classes :

Dépêches urgentes.

Dépêches ordinaires.

Sont considérées comme dépêches urgentes, celles qui portent cette mention de la main de l'expéditeur ; elles prennent rang avant les autres.

Les dépêches privées urgentes sont soumises à une taxe triple de celle des dépêches ordinaires.

La longueur de la dépêche simple est fixée à quinze mots.

Les noms du bureau de départ et la date de l'expédition sont transmis d'office.

Il est accordé pour chaque adresse d'un à cinq mots qui ne sont pas taxés ; les mots de l'adresse dépassant ce maximum sont comptés et taxés avec le corps de la dépêche.

Pour les dépêches dont il doit être délivré plusieurs copies dans un lieu de station, le supplément à payer est d'un franc pour chaque exemplaire à remettre en sus de la dépêche primitive.

Les autres dispositions sont les mêmes que celles de la convention précédente.

Pour la Suède, la Norwége et le Danemark, on applique jusqu'à Hambourg le tarif fixé par la convention du 29 juin 1855 ; à partir de Hambourg, la taxe est établie par des règlements spéciaux.

Voici la taxe pour les trois capitales de ces États, à partir de Hambourg :

	TAXE		
	de 1 à 25 mots.	de 26 à 50 mots.	de 51 à 100 mots.
Stochholm.	9 fr. 95	19 fr. 85	29 fr. 74
Christiania.	10 fr. 24	20 fr. 17	30 fr. 12
Copenhague.	2 fr. 85	5 fr. 70	8 fr. 55

Pour l'Angleterre, les bases adoptées pour la taxe des dépêches pri-

vées sont les mêmes que pour la Belgique, l'Espagne, la Sardaigne et la Suisse.

Toutes les villes du Royaume-Uni sont considérées comme étant dans la 5e zone à partir de Calais.

Ainsi la taxe d'une dépêche simple de 15 mots envoyée de Calais à une ville quelconque de l'Angleterre est de 7 fr. 50; cette taxe est augmentée de 2 fr. 50 pour chaque série de cinq mots en sus de quinze.

Dans plusieurs États il existe des lignes télégraphiques appartenant à des Compagnies, qui, n'étant pas comprises dans les traités conclus entre les gouvernements, donnent lieu à un assez grand nombre d'exceptions, que nous ne pouvons énumérer ici.

III

Conditions d'admission au surnumérariat dans l'administration des lignes télégraphiques.

ARRÊTÉ MINISTÉRIEL DU 15 NOVEMBRE 1855, QUI RÈGLE LES CONDITIONS SUIVANT LESQUELLES DOIT AVOIR LIEU L'ADMISSION AU SURNUMÉRARIAT DANS L'ADMINISTRATION DES LIGNES TÉLÉGRAPHIQUES.

ARTICLE PREMIER. — Le personnel de l'administration des lignes télégraphiques se recrute au moyen d'un concours établi entre tous les candidats aux places de surnuméraires-stationnaires de cette administration. Toutefois, un tiers de ces places est réservé aux militaires de tous grades libérés du service militaire, sachant lire et écrire correctement, et âgés de moine trente ans.

ART. 2. — Les concours auront lieu à Paris, toutes fois que le besoin du service l'exigera.

ART. 3. — Les candidats doivent être âgés de vingt-deux ans au moins et de vingt-huit ans au plus, et justifier de leur qualité de Français.

ART. 4. — Ils doivent fournir, un mois au moins avant l'époque du concours :

1° Leur acte de naissance ;
2° Un certificat constatant leur libération du service militaire ;
3° Un certificat de bonne vie et mœurs.

Art. 5. — Ils doivent justifier des connaissances suivantes :

1° Une rédaction correcte ;
2° Le dessin linéaire ;
3° L'arithmétique jusques et y compris les proportions ;
4° La géométrie élémentaire ;
5° Les éléments de chimie ;
6° Les éléments de physique et spécialement ce qui est relatif à l'électricité statique et dynamique ;
7° Le levé des plans ;
8° Le nivellement.

Art. 6. — La connaissance de l'une ou plusieurs des langues suivantes : l'allemand, l'anglais, l'italien et l'espagnol, sera prise en grande considération pour le classement des candidats.

Art. 7. — La commission d'examen sera présidée par le directeur général, qui désignera pour la compléter un inspecteur général, un directeur principal et deux inspecteurs.

Art. 8. — Le directeur général des lignes télégraphiques est chargé de l'exécution du présent arrêté.

PROGRAMME DES CONNAISSANCES EXIGÉES DES ASPIRANTS AU SURNUMÉRARIAT, FIXÉ PAR UN ARRÊTÉ DU 15 NOVEMBRE 1855.

1° *Arithmétique.*

Numération décimale.

Addition et soustraction des nombres entiers.

Multiplication des nombres entiers. — Le produit de plusieurs nombres entiers ne change pas quand on intervertit l'ordre des facteurs.

Division des nombres entiers.

Pour multiplier ou diviser un nombre par un produit de plusieurs facteurs, il suffit de multiplier ou de diviser successivement par les facteurs de ce produit.

Théorie des nombres premiers. — Décomposition d'un nombre en

ses facteurs premiers. — Plus grand commun diviseur. — Plus petit nombre divisible par des nombres donnés.

Fractions ordinaires. — Opérations sur les fractions ordinaires.

Nombres décimaux. — Opérations sur les nombres décimaux.

Réduire une fraction ordinaire en fraction décimale, et réciproquement.

Système des mesures légales.

Formation des carrés et des cubes, des nombres entiers et des fractions ordinaires et décimales.

Extraction des racines carrée et cubique.

Théorie des proportions.

Règle de trois. — Règle d'intérêts simples. — Règle de société, d'alliage, de mélange.

2° *Géométrie.*

Ligne droite et plan. — Ligne brisée. — Ligne courbe.

Angles. — Triangles. — Cas d'égalité.

Droites parallèles. — Parallélogrammes. — Propriétés de leurs côtés, de leurs angles et de leurs diagonales.

De la circonférence du cercle. — Cordes et arcs. — Conditions de contact et de l'intersection de deux cercles.

Mesure des angles. — Angles inscrits.

Problèmes sur la construction des triangles.

Tracé des perpendiculaires et des parallèles. — Emploi de l'équerre et du rapporteur. — Vérification de l'équerre.

Lignes proportionnelles.

Triangles semblables. — Polygones semblables.

Diviser une droite donnée en parties proportionnelles à des longueurs données.

Construire sur une droite donnée un polygone semblable à un polygone donné.

Polygones réguliers. — Ils peuvent être inscrits et circonscrits au cercle. — Inscrire dans un cercle hexagone régulier.

Le rapport d'une circonférence à son diamètre est un nombre constant. — Evaluation du rapport rapproché de la circonférence au diamètre.

Mesure des airs. — Aires des polygones semblables. — Aire d'un cercle, d'un secteur, d'un segment de cercle.

Deux droites qui se coupent déterminent un plan. — Condition pour qu'une droite soit perpendiculaire à un plan.

Parallélisme des droites et des plans.

Mesure des angles dièdres. — Angles trièdres.

Du parallélipipède. — Sa mesure.

Pyramide. — Sa mesure. — Volume du tronc de pyramide.

Des polyèdres semblables.

Cônes et cylindres droits, à base circulaire. — Surface latérale. — Volume.

Sphères. — Aire de la zone. — Aire de la sphère entière. — Volume du secteur sphérique de la sphère entière.

3° *Levé des plans.*

Tracé d'une droite sur le terrain. — Mesure d'une portion de droite au moyen de la chaîne. — Lever au mètre. — Tracé des perpendiculaires. — Usage de l'équerre d'arpenteur. — Graphomètre. — Son usage. — Rapporter le plan sur le papier. — Echelle de réduction.

Lever à la planchette. - Lever à vue.

4° *Physique.*

Comparaison et mesure des forces.

Pesanteur. — Poids. — Balance.

Equilibre des liquides. — Principes de la transmission des pressions. — Presse hydraulique.

Principe d'Archimède. — Mesure de la densité. — Aréomètre.

Pression atmosphérique. — Baromètre. — Machine pneumatique.

Aérostat.

Chaleur. — Dilatation. — Construction et usage des thermomètres.

Densité des gaz

Mélanges réfrigérants.

Mesure de la force élastique maximum de la vapeur d'eau à diverses températures.

Mélange des gaz et des vapeurs. — Hygromètre. — Pluie. — Neige. — Vents réguliers et irréguliers. — Brouillard. — Rosée.

Electricité. — Corps conducteurs. — Corps non conducteurs. — Pouvoirs des pointes.

Electricité par influence. — Electroscope. — Machine électrique.

Bouteille de Leyde. — Batteries électriques. — Electromètre condensateur.

Tonnerre. — Paratonnerre. — Choc en retour.

Aimants. — Pôles des aimants. — Procédés d'aimantation. — Armature des aimants.

Aiguille aimantée. — Méridien magnétique. — Déclinaison et inclinaison. — Action directrice du globe. — Boussole.

Piles. — Des diverses piles. — Leur installation. — Théorie de la pile. — Effets lumineux, calorifiques et mécaniques. — Effets chimiques. — Galvanoplastie. — Argenture et dorure. — Décomposition de l'eau par la pile. — Piles sèches.

Electro-magnétisme. — Déviation de l'aiguille aimantée produite par un courant. — Attraction et répulsion d'un aimant par un courant.

Galvanomètre ou multiplicateur. — Boussole. — Courants produits par l'électricité ordinaire. — Aimantation par courants. — Aimantation du fer doux par l'influence d'un courant.

Courants par induction.

Faits du magnétisme en mouvement.

Courants thermo-électriques.

Théorie électro-chimique de la pile. — Pile de Daniell. — Pile de Bunsen. — Conductibilité des métaux pour les courants. — Lois de l'intensité des courants dans un circuit homogène, dans un circuit hétérogène. — Intensité des courants dérivés. — Lois de la dérivation.

5° *Chimie.*

Corps simples. — Corps composés. — Nomenclature. — Acides. — Bases. — Sels.

Oxygène. — Combustion.

Azote. — Air atmosphérique.

Hydrogène. — Eau.

Carbone. — Acide carbonique. — Hydrogène carboné. — Gaz de l'éclairage.

Acide azotique. — Ammoniaque.

Soufre. — Acide sulfureux. — Acide sulfurique. — Hydrogène sulfuré.

Phosphore. — Acide phosphorique. — Hydrogène phosphoré.

Chlore. — Acide chlorhydrique.

Sels en général. — Lois de Berthollet.

Calcaires. — Chaux grasses et hydrauliques. — Mortiers. — Plâtres.

Potasses. — Soudes. — Sulfate de soude. — Sel marin.

Fer, zinc, étain, cuivre, plomb, mercure. — Leurs oxydes et les caractères de leurs sels. — Sulfate de cuivre.

Argent, or, platine. — Les caractères de leurs chlorures ou sels solubles.

Notions de métallurgie.

Notions sur les houilles.

TABLE DES MATIÈRES.

Pages.

CHAPITRE PREMIER.

NOTIONS PRÉLIMINAIRES.

CHAPITRE II.

PRINCIPES GÉNÉRAUX DE LA TÉLÉGRAPHIE ÉLECTRIQUE.

CHAPITRE III.

INSTRUMENTS DIVERS EMPLOYÉS DANS LES BUREAUX TÉLÉGRAPHIQUES.

CHAPITRE IV.

DESCRIPTION DES PRINCIPAUX APPAREILS TÉLÉGRAPHIQUES.

CHAPITRE V.

PERTURBATIONS QU'ÉPROUVE LA TRANSMISSION SUR LES LIGNES ÉLECTRIQUES.

CHAPITRE VI.

RECHERCHE DES DÉRANGEMENTS.

CHAPITRE VII.

CONSTRUCTION DES LIGNES ÉLECTRIQUES.

CHAPITRE VIII.

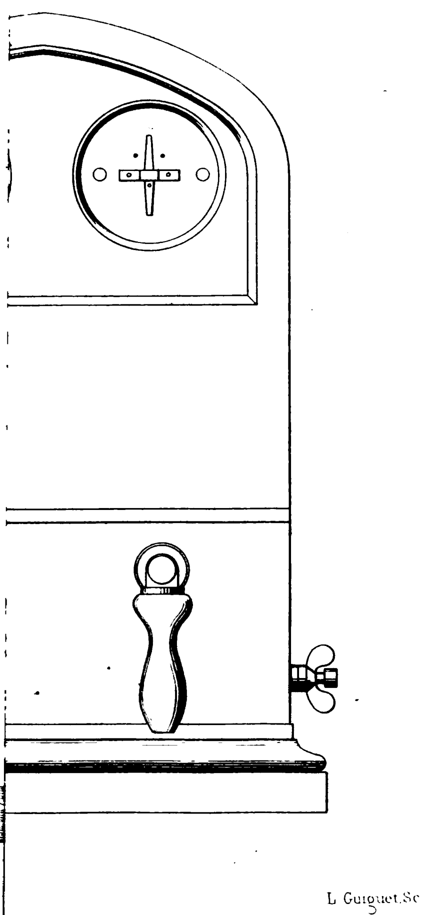
APPAREILS DIVERS.

NOTES.

APPENDICE.

Paris . Lacroix-Comon, Editeur.

Fig. 3.



L Guiguet Sc

Paris __ Lacroix-Comon. Editeur.

S' X' R' B B'' S'' X''

M' P'

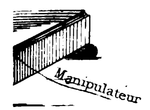
S S L' K' H' B V' directe E' R G' R N'

1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 11 12

B C D E F G H I J K

T Z V'

Pole Zinc



L Guiguet fils Sc

Paris __ Lacroix-Comon. Editeur.

g. 3.

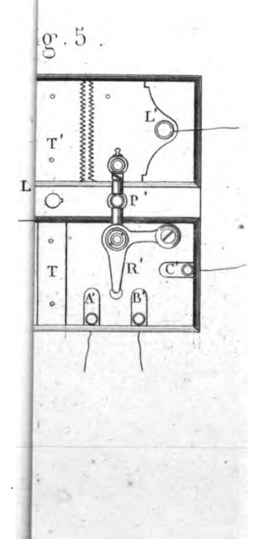
G
D
B
H
M
A
Z
Y
Pile
Ligne

Terre

gne

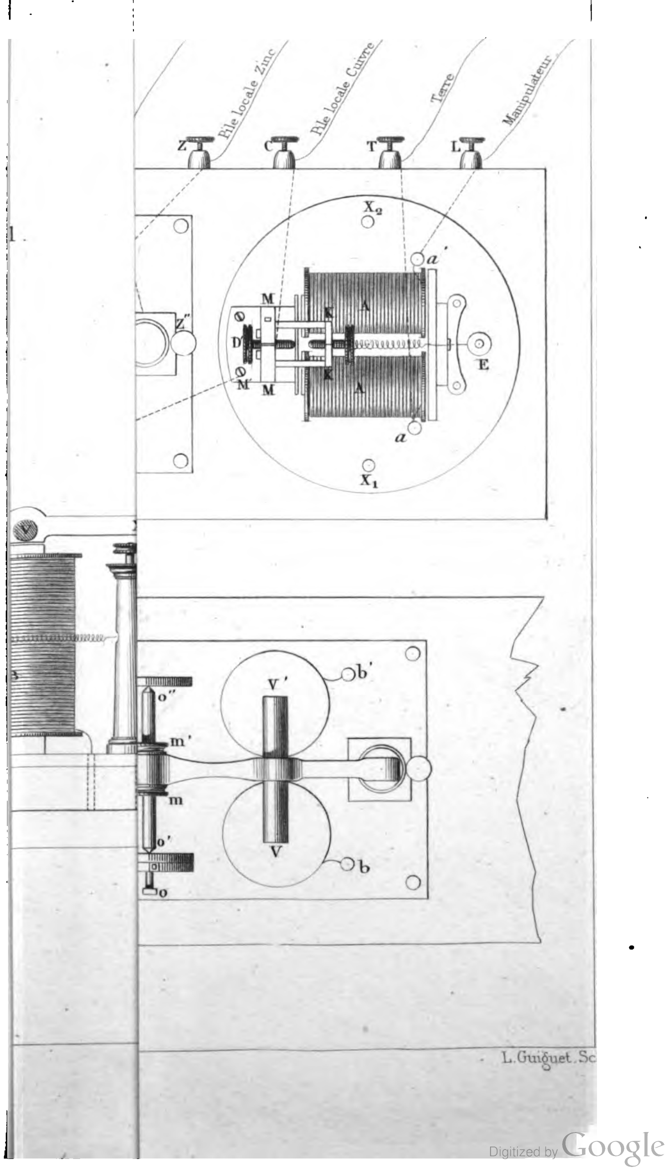
Fig. 1.

g. 5.



L Guiguet fils Sc

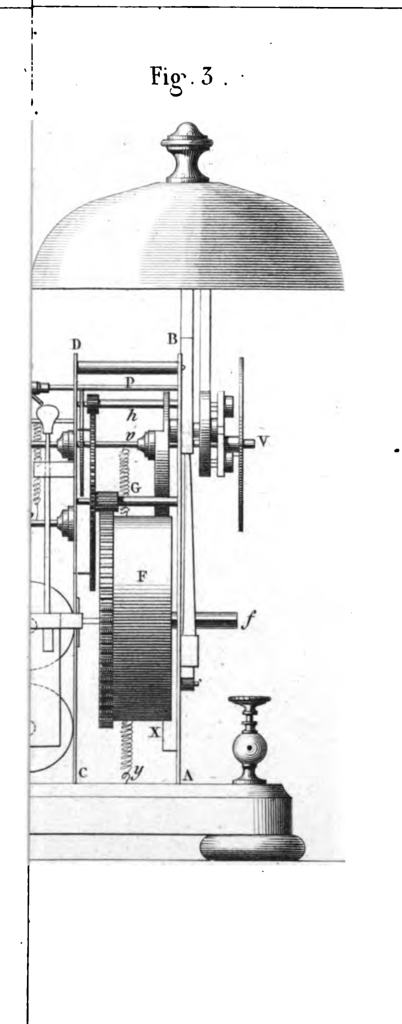
Paris _Lacroix-Comon. Editeur



L. Guiguet. Sc

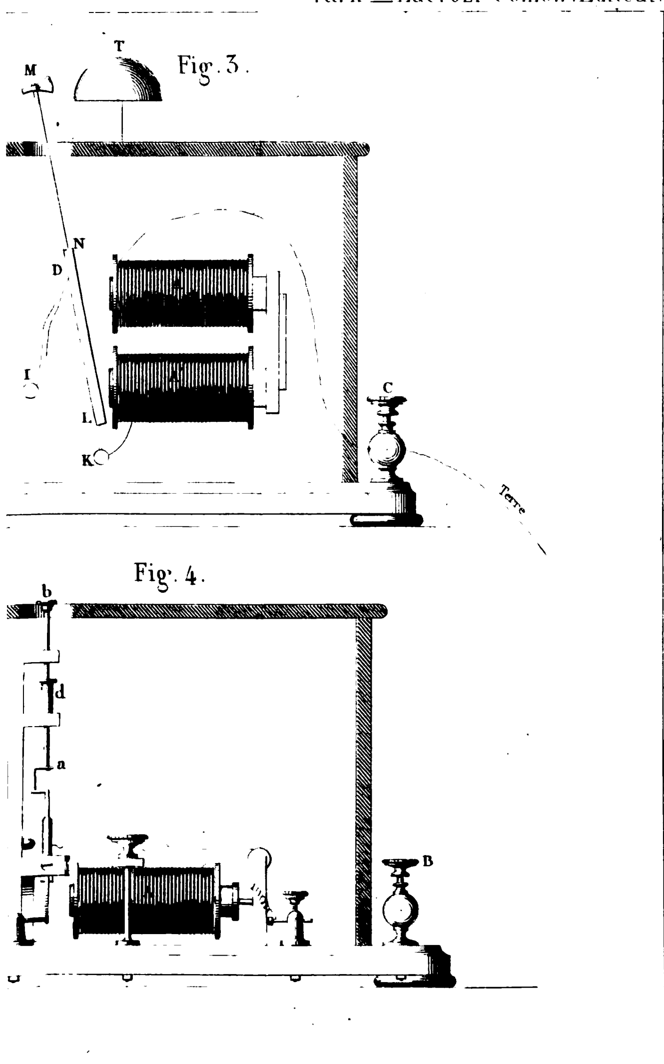
Paris — Lacroix-Comon. Editeur.

Fig. 3.

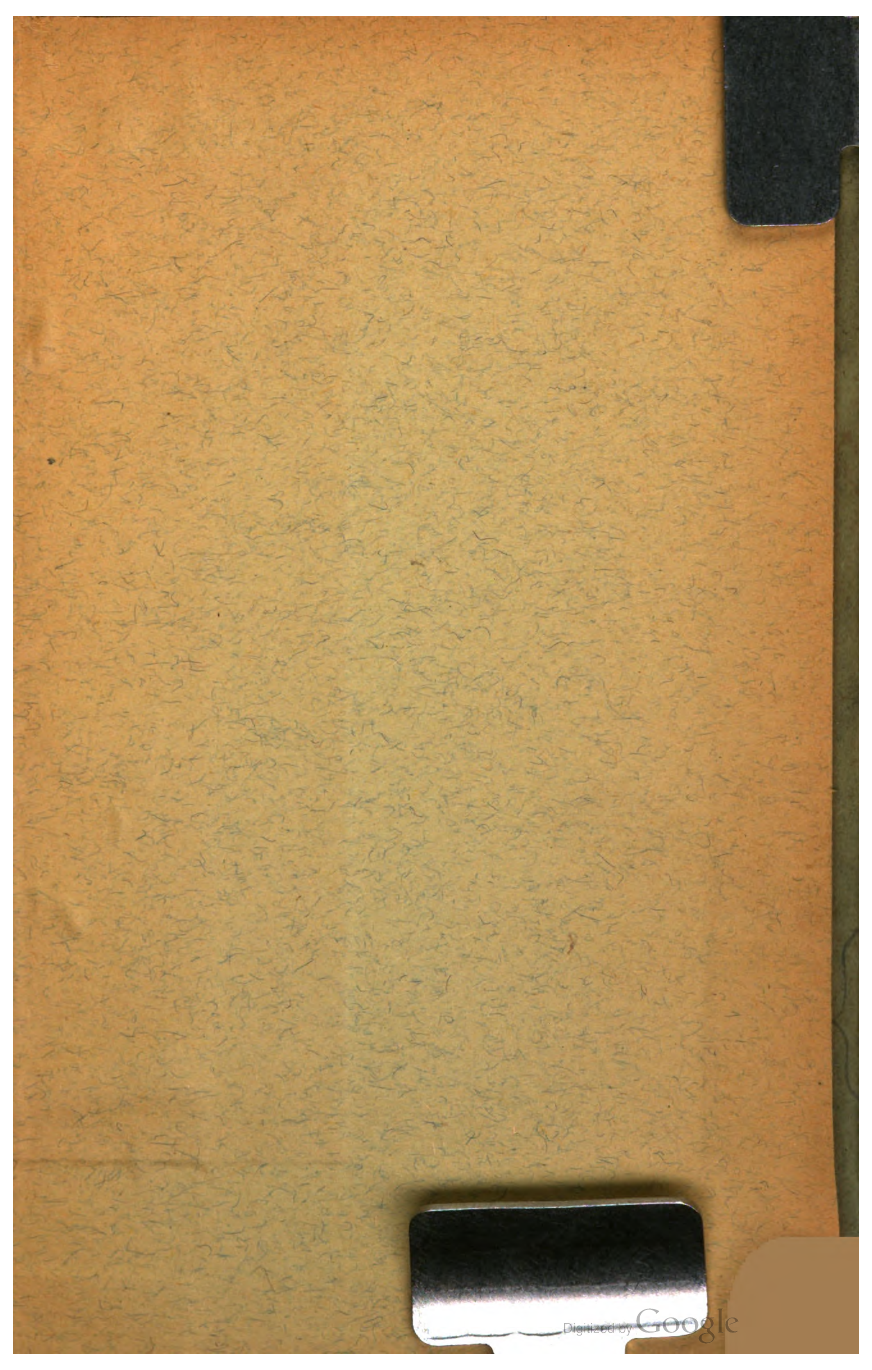


L. Guiguet. Sc.

Paris _ Lacroix-Comon. Editeur.



L. Guiguet Sc



...trait du Catalogue de la Librairie LACROIX-COMON.

TÉLÉGRAPHIE ET ÉLECTRICITÉ APPLIQUÉES A L'INDUSTRIE.

...QUEREL (Messieurs). **Traité d'électricité et de magné-...sme** avec leurs applications aux sciences physiques, aux arts et l'industrie. Ouvrage indispensable aux employés des lignes télé-...aphiques. 3 vol. in-8. 24 fr.

...S (V.). **La télégraphie électrique.** 1 vol. in-16. 1 fr.

...EGUET (L.) fils, membre du Bureau des longitudes, constructeur ...es appareils de l'administration télégraphique, et V. DE SERE, ...recteur du télégraphe. **Télégraphie électrique,** son avenir, ...oste aux lettres électrique, journaux électriques; application ...éorique et pratique de l'électricité à la télégraphie. 1 vol. ...-18. 2 fr.

...APPE (l'aîné), ancien administrateur des lignes télégraphiques. **...istoire de la télégraphie.** Nouvelle édition précédée de l'o-...gine du télégraphe Chappe, d'observations sur la possibilité de ...mplacer le télégraphe aérien par un télégraphe acoustique. ...vol. in-8. 4 fr.

...LA RIVE, membre correspondant de l'Institut de France, an-...ien professeur de l'Académie de Genève. **Traité d'électricité ...héorique et appliquée.** 3 vol. in-8, avec 450 fig. intercalées ...ans le texte. Prix de chaque volume. 9 fr.

... **L'Éther, l'Électricité et la Matière.** Physique, théologie, ta-...les parlantes et réformes. 1 vol. in-8. 5 fr.

...VARRET (J.). **Traité d'électricité.** Tome 1, 1 vol. in-18 et ...80 fig. dans le texte. 8 fr.

...YOT (le docteur J.). **De la télégraphie de jour et de nuit.** ...vol. in-8. 5 fr.

...EGE (B.) et UNGERER. **Vade-mecum pratique de télé-...raphie électrique** à l'usage des employés du télégraphe. Cours ...lémentaire professé à l'Administration centrale des lignes télé-...raphiques. Notions de physique indispensable à l'intelligence ...e la télégraphie. Description des appareils. Manipulation. 1 vol. ...n-18. 2 fr. 50

...IGNO (M. l'abbé), aumônier du lycée Louis-le-Grand. **Traité de ...élégraphie électrique,** comprenant son histoire, sa théorie, ...es appareils, sa pratique, son avenir, etc., etc., précédé d'un ex-...osé de la télégraphie en général. 2e édition, 1 vol in-8, et atlas ...e 22 planches. 15 fr.

...NCEL (le vicomte H. du). **Exposé des applications de l'Élec-...ricité.** Tome I. Notions technologiques. 2e édit. 1 vol. in-8. 8 fr.

— Tome II. Applications mécaniques de l'électricité, 2e édit. 1 vol. in-8. 10 fr.

... **L'Électricité appliquée à l'industrie,** des électro-moteurs. 2e édition revue et augmentée. In-8. 2 fr.

... **Considérations nouvelles sur l'électro-magnétisme** et ses applications aux électro-moteurs et à l'anémographie électrique. In-8. 3 fr.

...IVIER (Joseph). **Traité de magnétisme,** suivi des paroles d'un somnambule et d'un recueil de traitements magnétiques. 1 vol. in-8. 9 fr.

...IGEY (E.). **Annales télégraphiques,** publiées sous le patro-nage de M. le directeur général des lignes télégraphiques. 1 beau vol. grand in-8 avec un grand nombre de planches. 10 fr.

Les *Annales télégraphiques* traitent de toutes les questions théoriques et pratiques de la télégraphie. Elles décrivent les appareils usités chez les diverses nations, les différents modes d'isolement des fils; elles déterminent quelles sont les meilleures conditions pour l'établissement des lignes.

Imprimerie de W. REMQUET et Cie, rue Garancière, 5.